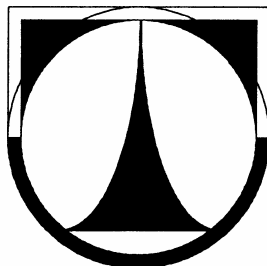


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie



**Vliv vybraných parametrů na geometrii svarů u MAG
procesu svařování**

**The influence of chosen parameters to the geometry of
welds of GMAW process**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Pavel Drápela

Květen 2008

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program M 2301- Strojní inženýrství

Strojírenská technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

**Vliv vybraných parametrů na geometrii svarů u MAG
procesu svařování**

**The influence of chosen parameters to the geometry of
welds of GMAW process**

Pavel Drápela

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing. Heinz Neumann, CSc. – *TU v Liberci*

Konzultant diplomové práce: Ing. David Hrstka – *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	73
Počet tabulek	24
Počet obrázků	67

Originální zadání DP

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: M2301-Strojní inženýrství
Diplomant: Pavel Drápela
Téma práce: Vliv vybraných parametrů na geometrii svaru u MAG procesu svařování

Číslo DP: KSP – SM - 540

Vedoucí DP: Doc.Ing. Heinz Neumann, CSc. -*TU v Liberci*

Konzultant : Ing. David Hrstka -*TU v Liberci*

Abstrakt:

Diplomová práce řeší dílčí problém vlivu vybraných parametrů na geometrii svarů u MAG procesu svařování. Navazuje na předchozí výzkum vybraných parametrů ovlivňujících geometrii svaru, kdy vlivy nebyly zkoumány v takové míře. V rámci diplomové práce bylo zmodernizováno svařovací pracoviště a zpřesněno upínání zkušebních vzorků. Doplnuje a zpřesňuje tento výzkum a vliv dalších parametrů s použitím monitorovacího systému WeldMonitor.

Abstract:

This paper deals partial problem of influence of the chosen parameters to the geometry of welds of GMAW process. It ties together on previous search of the chosen parameters, which affect the influence of geometry of welds. These influences have not been search in such measure yet. In terms of those work, it was modernized the workwelding workplace and pecify the cramping of the trial samples. This paper completes and pecifies this search using monitoring system Weldmonitor.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 21. května 2008

.....
Pavel Drápela
Záluží 163
330 11 Třemošná

Poděkování

Na úvod této diplomové práce bych rád poděkoval:

Doc. Ing. Heinzu Neumannovi, CSc. a Ing. Davidu Hrstkovi za podnětné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Také bych rád poděkoval svým rodičům za projevenou trpělivost a za pomoc při studiu na vysoké škole.

OBSAH

1 ÚVOD	10
2 TEORETICKÁ ČÁST	11
2.1 Princip metody svařování MAG	11
2.1.1 Charakteristika a rozsah obvyklého použití MAG svařování	13
2.1.2 Přenos svarového kovu u MAG svařování	13
2.1.3 Druhy přenosů svarového kovu v oblouku u MAG svařování	15
2.1.4 Teorie tavení drátu	18
2.1.5 Parametry oblouku u procesu MAG svařování	20
2.2 Zdroje pro svařování MAG	22
2.2.1 Rozdělení zdrojů pro MAG svařování	22
2.2.2 Současný trend vývoje zdrojů pro MAG svařování	23
2.3 Systém pro monitorování a dokumentaci procesu svařování	
Weldmonitor 3.5	26
2.3.1 Weldmonitor hardware	26
2.3.2 Weldmonitor software	27
2.4 Ochranné plyny u procesu MAG svařování	28
2.4.1 Funkce ochranné atmosféry	28
2.4.2 Důsledky působení ochranné atmosféry na proces svařování	28
2.4.3 Porovnání vlastností ochranných plynů	29
2.4.4 Směsi plynů pro MAG svařování	29
2.5 Hodnocení vad a určování stupňů jakosti koutového svaru dle ČSN EN ISO 5817	31
2.5.1 Špatné sestavení koutových svarů	31
2.5.2 Zápal	32
2.5.3 Nadměrné převýšení koutového svaru	32
2.5.4 Strmý přechod svaru	33
2.5.5 Nadměrná asymetrie koutového svaru	33
2.5.6 Pórovitost kořene	34
2.5.7 Podkročení velikosti koutového svaru	34
2.5.8 Překročení velikosti koutového svaru	35
2.5.9 Trhlina	35
2.5.10 Pórovitost a shluky pórů	36
2.5.11 Vícenásobné vady	37
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	38
3.1 Cíl práce	38
3.2 Laboratoř automatického svařování MAG	39
3.2.1 Svařovací zdroj Migatron BDH 550	39
3.2.2 Metalografická laboratoř	40
3.2.3 Přídavný materiál	41
3.2.4 Ochranný plyn	41
3.2.5 Svařované vzorky	41
3.2.6 Způsob svařování vzorků	42
3.2.7 Monitorování svařovacích parametrů procesu MAG pomocí programu Weldmonitor 3.5	43

3.3 Způsob provádění experimentu	44
3.3.1 Vizualní kontrola a rozměrová analýza svaru	46
3.3.2 Vzorek č.1	50
3.3.3 Vzorek č. 2	52
3.3.4 Vzorek č. 3	54
3.3.5 Vzorek č. 4	56
3.3.6 Vzorek č. 5	58
3.3.7 Vzorek č. 6	60
3.3.8 Vzorek č. 7	62
3.3.9 Vzorek č. 8	64
3.4 Vyhodnocení experimentální části	66
3.4.1 Hodnocení vad a určování stupňů jakosti koutového svaru	67
3.4.1.1 Zápal	67
3.4.1.2 Nadměrné převýšení koutového svaru	68
3.4.1.3 Pórovitost a shluky pórů	69
3.4.2 Shrnutí a zhodnocení výsledků	70
4. ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE	71
5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	72

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

MIG (metoda 131),	obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu
MAG (metoda 135),	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu
F_S	síla povrchového napětí kapky [N]
F_γ	síla povrchového napětí kapky [N]
F_p	síla vyvolaná tlakem kovových par [N]
F_g	gravitační síla [N]
F_m	elektromagnetická síla [N]
F_H	hydrodynamická síla [N]
I	proud [A]
U	napětí [V]
U_0	napětí na prázdno [V]
v_d	rychlost drátu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
v_s	rychlost svařování [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]
L	výlet drátu [mm]
L_o	délka oblouku [mm]
L_c , CTWD	vzdálenost kontaktní špičky nad povrchem [mm]
v	účinná výška koutového svaru [mm]
z	hloubka závaru [mm]
a	jmenovitá velikost koutového svaru [mm]
b, c	strany koutového svaru [mm]
w	šířka housenky [mm]
w_s	střední hodnota šířky housenky [mm]
r	převýšení svaru [mm]
P_M	výpočtová průřezová plocha návaru [mm^2]
P_N	plocha návaru změřená z makrosnímku [mm^2]
P_S	průřezová plocha svaru [mm^2]

1. ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá procesem svařování MAG, která je společně s metodou MIG nejrozšířenější metoda svařování v Evropě, USA a Japonsku. V celosvětovém měřítku má rozhodující podíl v používaných metodách tavného svařování.

Důvodem značného rozšíření těchto technologií je jejich vysoká produktivita a snadná automatizace. Tyto metody používají jako koncentrovaný zdroj tepla elektrický oblouk, který vytváří teplo pro místní natavení základního materiálu i pro tavení přídavného materiálu. Elektrická energie přeměněná na teplo vytváří oblouk o teplotě od 6000 do 10000°C), čímž se základní materiály lokálně nataví a krystalizací svarové lázně spojí. Abychom dosáhli po metalurgické stránce vyhovující vlastnosti svarového spoje, je nutno v procesu svařování ochránit svarovou lázeň i kov odtavující se z přídavného materiálu před přístupem vzduchu. K zajištění výhodných metalurgických vlastností svarového kovu spoje slouží u metod svařování elektrickým obloukem obal elektrody, náplň trubičkové elektrody, tavidlo a ochranná atmosféra inertního nebo aktivního plynu.

Mezi metody obloukového svařování patří ruční svařování obalenými elektrodami, svařování v ochranných plynech tavící a netavící se elektrodou a svařování pod tavidlem. Volba přídavných materiálů se volí tak, aby se výsledné chemické složení a mechanické hodnoty svarového kovu co nejvíce blížily hodnotám a vlastnostem svařovaného základního materiálu. Zařízení pro svařování MIG a MAG, používají se svařovací poloautomaty a automaty.

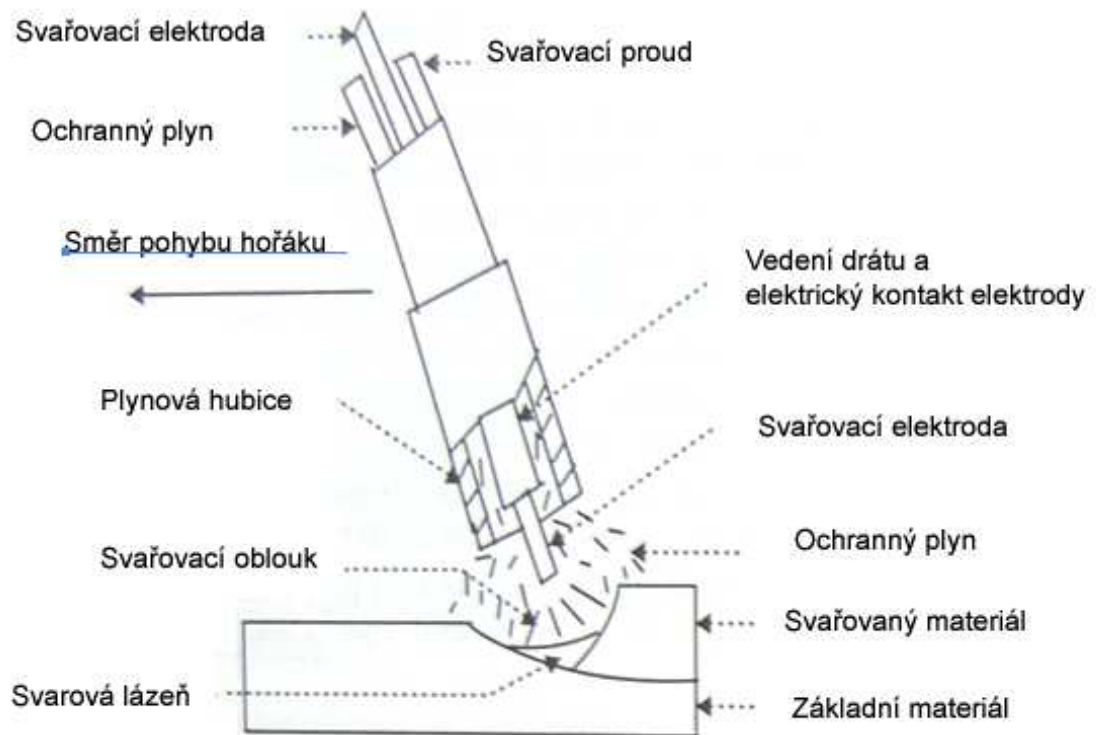
2. TEORETICKÁ ČÁST

2. 1 Princip metody svařování MAG

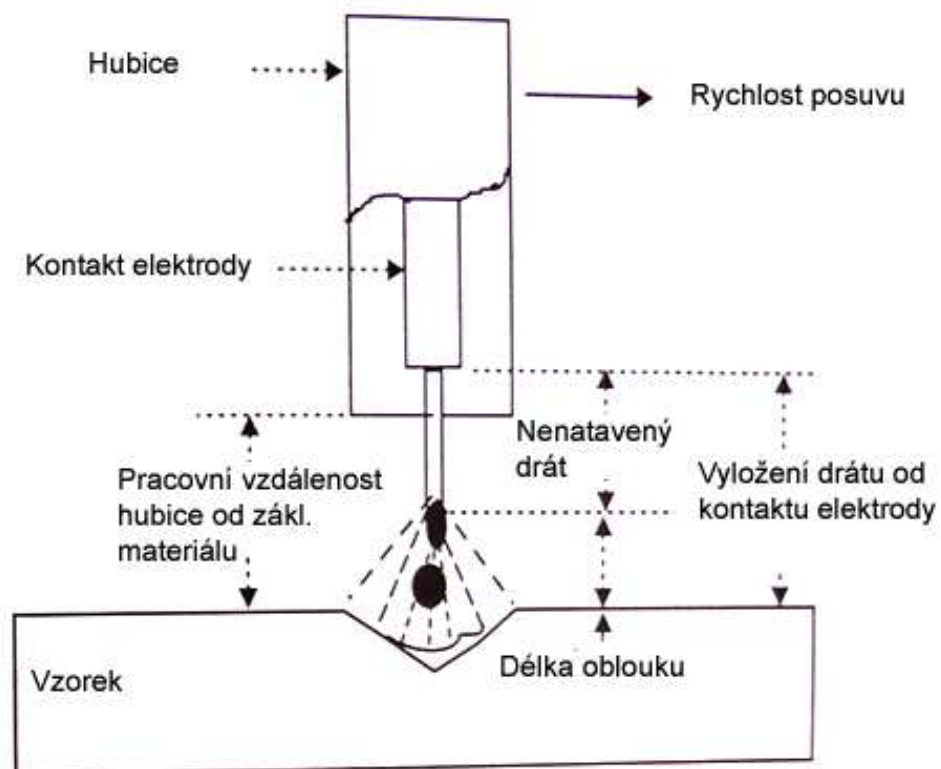
MAG–Metal Active Gas (GMAW)

Při MAG svařování hoří elektrický oblouk mezi drátem (odtavující se elektrodou) a základním materiálem. Při svařování MAG je kovový drát posunován přes svařovací hořák do elektrického oblouku, kde je roztaven a přenesen do svarové lázně – obr. 1. Energie potřebná pro hoření oblouku je dodávána ze svařovacího zdroje. Elektrický oblouk a svarová lázeň jsou chráněny ochranným plynem, který je přiváděn dýzou hořáku. Ochranná atmosféra se volí podle druhu svařovaného materiálu, ovlivňuje však i přenos materiálu, rozstřík a teplotní poměry v oblouku. Teplota oblouku MAG je kolem 10 000 °C.

Důležitým faktorem při svařování metodou MAG je zajištění stability svařovacího procesu. Pod tento pojem se zahrnuje stabilita hoření oblouku, stabilita přenosu kovu, rozstřík a stabilita geometrie svaru. Stability procesu dosahujeme vhodnou volbou parametrů svařování.



Obr. 1 – princip MAG svařování postupem vzad [1]



Obr. 2 – terminologie procesu MAG svařování [1]

2.1.1 Charakteristika a rozsah obvyklého použití MAG svařování

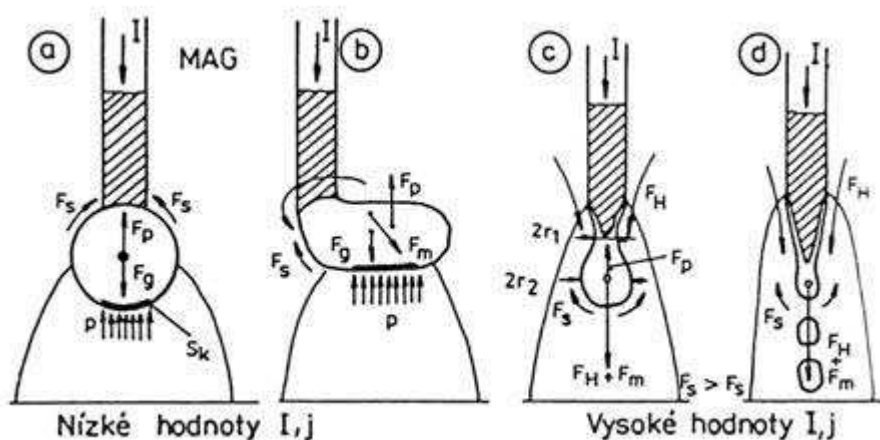
MAG svařování je vhodné pro svařování ve všech polohách, tloušťka základního materiálu je 0,8 – 40 mm. Jako základní materiál se nejčastěji používají nelegované a nízkolegované ocele, režimy přenosu materiálu jsou zkratový: $I = 40 - 190 \text{ A}$, $U = 16 - 21 \text{ V}$ nebo sprchový: $I = 120 - 500 \text{ A}$, $U = 20 - 36 \text{ V}$. Druh proudu je stejnosměrný a průměry elektrod jsou 0,8 – 2,6 mm.

Pro svařování MAG se používají vysoké proudové hustoty $100 - 400 \text{ A}\cdot\text{mm}^{-2}$. Proto se dosahuje vysokých svařovacích rychlostí a výkonů navaření. Přenosové jevy v oblouku jsou řízeny téměř výlučně elektromagnetickými silami. Kapky kovu jsou přenášeny obloukem rychlostí kolem $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Způsob přenosu materiálu obloukem ovlivňuje průběh fyzikálně metalurgických reakcí i celou efektivnost svařování. Je – li nutno svařovat vyššími proudy, přesahujícími výkon svařovacího zdroje, který je k dispozici, mohou se při zachování určitých pravidel spojit dva zdroje paralelně. Přídavný materiál a ochranný plyn se volí tak, aby výsledné chemické složení a mechanické hodnoty svarového kovu se co nejvíce blížily hodnotám a vlastnostem svařovaného základního materiálu.

2.1.2 Přenos svarového kovu v oblouku u MAG svařování

Pod pojmem přenos svarového kovu u MAG svařování rozumíme natavování konce svařovací elektrody, pohyb oddělených kapek tekutého kovu a jeho splnutí se svarovou lázní. Obsah prvků ve svarovém kovu, které pocházejí z přídavného drátu a mohou v sloupci elektrického oblouku reagovat s ochranným plynem, výrazně závisí na počtu kapek (frekvenci kapek), které přejdou za časovou jednotku z drátu přes oblouk do tavné lázně, tedy na čase, po který se roztavený kov kapky stýká v oblouku s ochranným plynem. Čím kratší je tato doba, tj. čím je frekvence kapek větší, tím se méně výrazně liší obsah uvedených prvků ve svarovém kovu od jejich obsahu v přídavném svařovacím drátu. Chemické reakce mezi roztaveným kovem z přídavného drátu a ochrannou atmosférou mohou probíhat prakticky jen v této tzv. reakční době. Jakákoliv změna vedoucí ke zvětšení frekvence kapek, např. menší průměr drátu, vyšší proudová hustota, nižší zkratové napětí, zvyšuje obsah uvedených prvků ve svarovém kovu. Výrazně tedy ovlivní průběh fyzikálně chemických reakcí způsob přenosu svarového kovu do tavné lázně. Způsob

přenosu kapek kovu z natavovaného přídavného drátu závisí především na vzájemném poměru sil, které na kapku působí – obr. 3.



Obr.3 - Síly působící na kapku tavící se elektrody při různých proudových hustotách [2]

Síla povrchového napětí – F_s – snaží se udržet kapku na konci elektrody.

Síla vyvolaná tlakem kovových par – F_p – působí proti oddělení kapky z důvodu tlaku odpařovaného kovu.

Gravitační síla – F_g – má stejný vliv při svařování ve všech polohách.

Elektromagnetická síla – F_m – působí v radiálním i axiálním směru, má nejvyšší vliv na přenos kovu v oblouku.

Hydrodynamická síla – F_H – působí při vysokých proudových hustotách, napomáhá oddělení kapek z elektrody a urychluje kapky směrem do tavné lázně.

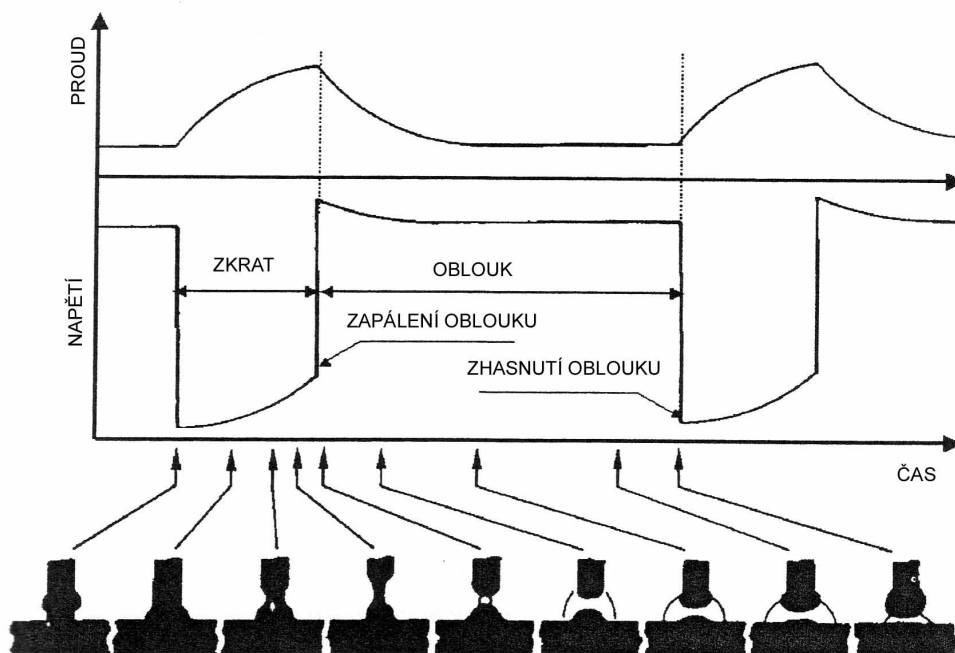
Na roztavený kov přídavného materiálu při svařování působí hlavně: gravitace, síly povrchového napětí, viskozita kapky nataveného kovu, elektromagnetické síly (tzv. Lorenzovy), vyvolávající elektrostatické síly ve směru osy a síly ve směru radiálním (pinch efekt), aerodynamický sací účinek proudu plynu, síla tlaků plynů a par, které vznikly uvnitř kapky, síly z odpařujícího se kovu a povrchu kapky aj. Velikost těchto sil a směr jejich výslednice jsou určovány svařovacími parametry, průměrem přídavného drátu, polaritou, fyzikálně chemickými vlastnostmi přídavného materiálu a ochranné plynové atmosféry.

Gravitační síla může napomáhat k odtržení kapek nataveného kovu od nenataveného přídavného drátu, kromě svařování nad hlavou. Síla povrchového napětí udržuje kapku na čele elektrody. Hodnota této síly je určena velikostí povrchového napětí a geometrickými rozměry kapky. Velikost povrchového napětí závisí na mnoha činitelích, především na teplotě a chemickém složení přídavného materiálu. Při zvýšení teploty se povrchové napětí nízkouhlíkových ocelí snižuje. Povrchové napětí je také možno snížit, jestliže ke kapce zavedeme plynem látky povrchově aktivní, např. kyslík. Viskozita roztaveného kovu rovněž ovlivňuje poměry při přechodu kapek do tavné lázně. Velikost elektromagnetické síly je úměrná druhé mocnině svařovacího proudu a její směr je určen poměrem průměrů přídavného materiálu a sloupce oblouku a při svařování v ochranných atmosférách má podstatný vliv na přenos kovu.

2.1.3 Druhy přenosů svarového kovu v oblouku u MAG svařování

Pod pojmem přenos svarového kovu u MAG svařování rozumíme natavování konce svařovací elektrody, pohyb oddělených kapek tekutého kovu a jeho splnutí se svarovou lázní. Natavení konce elektrody přednostně zabezpečuje teplo ze svařovacího oblouku, které se uvolňuje na anodě. Část drátu, od koncovky po místo odtavování, je zahřívána Jouleovým odporovým teplem.

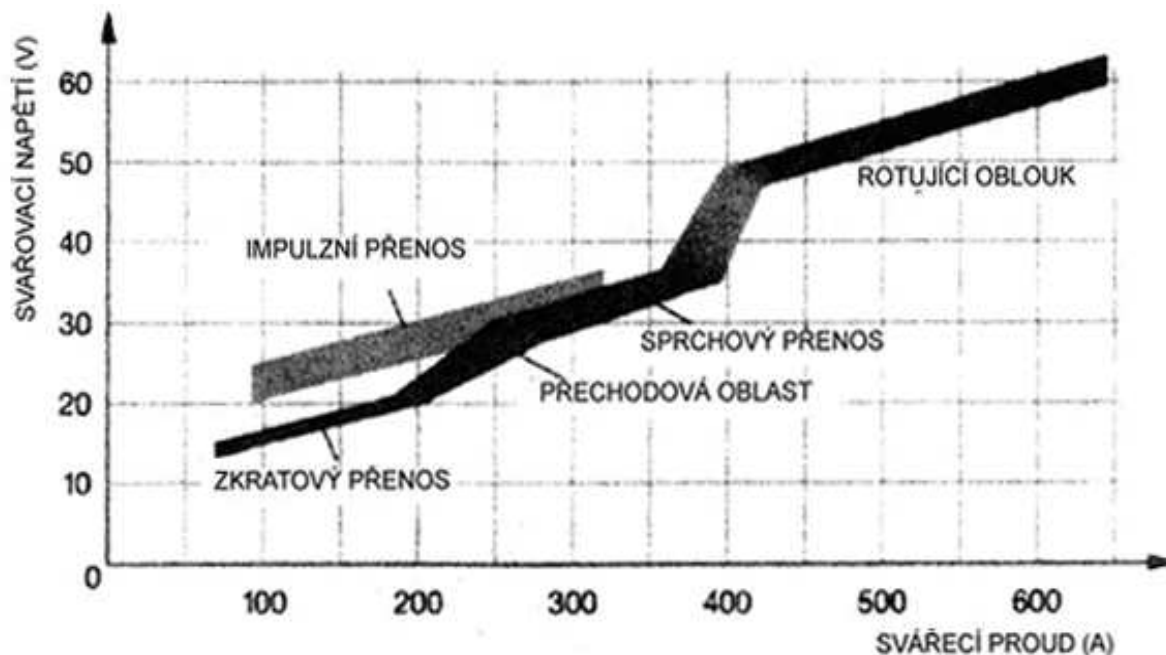
Zkratový přenos nastává při přenosu kovu v krátkém oblouku. Tento přenos se pohybuje v rozmezí napětí 14 – 20V a proudu 30 – 160A. V první fázi přenosu se drát roztaví stejně jako při kapkovém přenosu. Když se však kapka protáhne na délku oblouku, nastane ve druhé fázi elektrický zkrat. V pravidelné frekvenci se tedy střídá hoření oblouku a režim zkratu.



Obr. 4 Časový průběh proudu a napětí u MAG svařování ve zkratovém přenosu kovu [3]

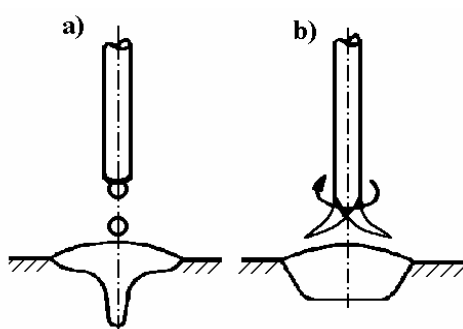
Při použití směsi Ar a CO_2 , kdy podíl Argonu v ochranném směsném plynu je vyšší než 75%, nastane přenos kovu ve formě drobných kapek, který se nazývá sprchový přenos. Na sprchový přenos má největší vliv elektromagnetická síla, jejíž velikost a směr je dán velikostí proudu a tvarem kapky.

Mezi zkratovým a sprchovým přenosem kovu je oblast přechodu. V této tzv. přechodové oblasti, ve které se vyskytují malé i velké kapky je přenos kovu, stabilnější než přenos velkými kapkami. Novější variantou přenosu je uměle řízený bezzkratový přenos. Tomuto přenosu se říká impulsní přenos. Je realizován pomocí impulsního svařovacího proudu.



Obr. 5 Základní rozdělení přenosu kovu při svařování [3]

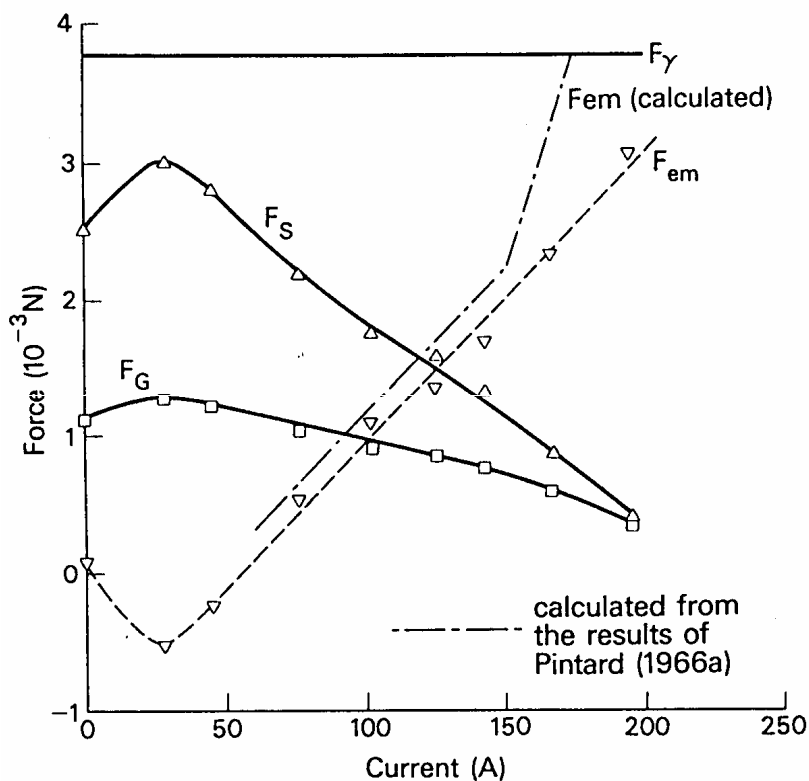
Další oblastí je oblast rotujícího oblouku. K přenosu zde dochází při proudech nad 400 A (u drátů s průměrem 1,2mm), za předpokladu vyšší stability při použití helia v ochranném plynu, při zvýšeném napětí na oblouku a větší volné délce drátu nad 20mm. Důsledkem vysoké intenzity proudu a velké volné délky je drát odporovým teplem přehříván přibližně na teplotu tavení. Intenzivním magnetickým polem je konec drátu ve vysoce plastickém stavu roztáčen a odtavující se kapky kovu vytváří kuželovou plochu.



Obr. 6 Tvar závaru při svařování a) sprchovým přenosem, b) rotujícím obloukem [4]

2.1.4 Teorie tavení drátu

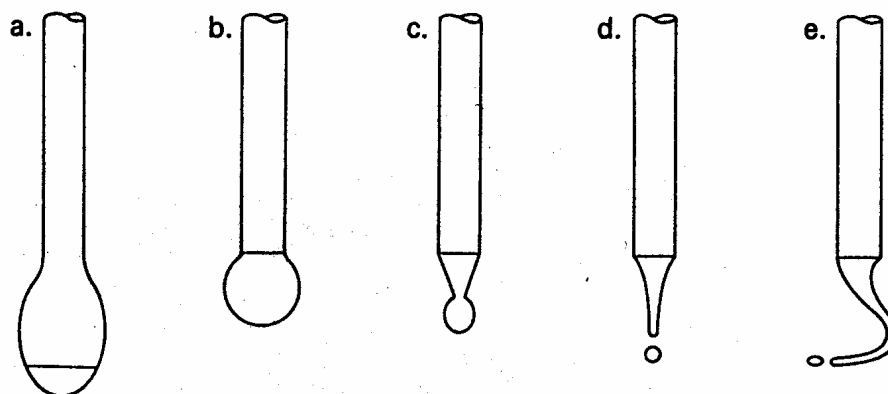
Podle nejpoužívanější teorie statické rovnováhy závisí způsob tavení drátu a přenosu kovu na výslednici čtyř hlavních sil, jejichž poměr se mění s intenzitou proudu podle obr. 7.



Obr.7 Závislost sil působících na kapku na velikosti elektrického proudu [5]

Pro kapku v okamžiku odtržení platí $F_\gamma = F_G + F_S + F_{em}$

Síla povrchového napětí kapky F_γ je největší silou a jedinou, která drží kapku pohromadě. Proti této síle působí součet dílčích sil gravitace F_G , aerodynamický účinek plynu F_S a elektromagnetické síly F_{em} . Tvar a velikost kapky jsou zřejmé na obr. 7.



Obr. 8 Tvar a velikost kapky při různých přenosech kovů [5].

Elektroda se odtavuje v závislosti na velikosti proudu (obr. 8) nejprve ve velkých kapkách, přidržovaných na konci elektrody povrchovým napětím. Součet ostatních sil je nízký a tak jejich růst je u metody MAG omezen zkratováním do tavné lázně, aby vzniklý rozstřík nepřesáhl přijatelnou úroveň. S rostoucím proudem se vlivem elektromagnetické síly na hrotu elektrody tavenina zužuje a se zmenšující se kapkou klesá i podíl gravitační a aerodynamické síly plynu.

Při vyšším proudu elektromagnetická síla prudce narůstá a za podmínky min. 75 % podílu Ar v ochranném plynu při dosažení určité intenzity proudu převáží soudržnou sílu povrchového napětí a charakter přenosu kovu se změní na sprchový. V přechodové oblasti lze bezzkratový přenos kovu zajistit impulsním charakterem proudu tak, že přenos kovu probíhá při impulsním proudu v oblasti sprchového režimu.

S dalším růstem intenzity proudu se za dodržení specifických stabilizujících podmínek proud taveniny na konci drátu zužuje do tenkého proudu, který se působením elektromagnetického pole axiálně odtrhává v celých sloupcích a žene taveninu do hloubky – moderovaná sprcha, nebo rychle rotuje a vytváří širokou tavnou lázeň.

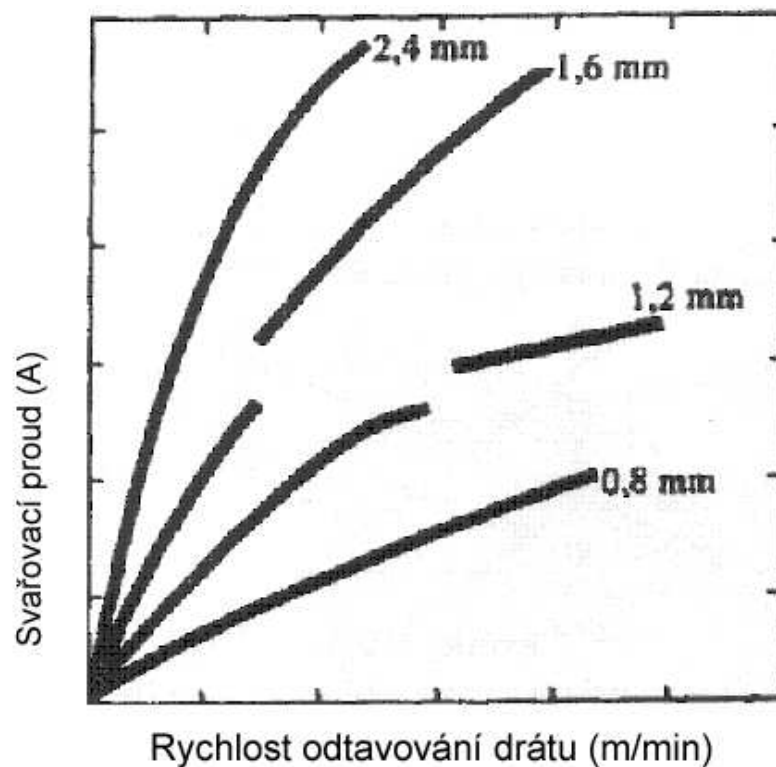
Režim zkratového přenosu lze využít i ve vysokoproudé oblasti. Zkrácením oblouku a větším vysunutím (výletem) drátu z kontaktní špičky se zvětší elektrický odpor, který přispívá k tavení na jeho konci a při vyšším proudu působí zrychlené zkratování. [15].

2.1.5 Parametry oblouku u procesu MAG svařování

Nastavení parametrů při MAG svařování je složitější z následujících důvodů:

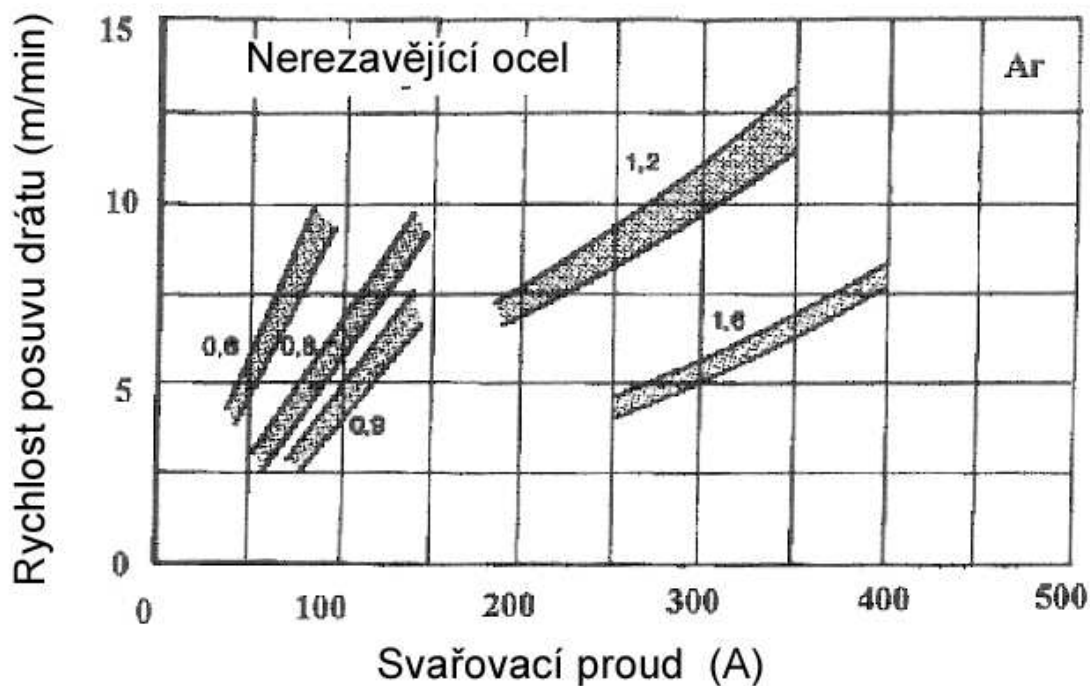
- 1) Při MAG svařování lze použít různé průměry drátů (tavicí se elektrody) pro stejnou velikost svařovacího proudu
- 2) Rozsah možností proudového zatížení je pro každý průměr drátu relativně široký
- 3) Proudové zatížení drátu se mění nejen podle průměru a chemického složení drátu, ale také podle druhu ochranného plynu.
- 4) Se zvýšením proudového zatížení drátu se může zásadně změnit způsob odtavování drátu (přenos kovu v oblouku)

Základními parametry svařovacího oblouku při MAG svařování jsou svařovací proud a napětí na oblouku. Při ručním svařování MAG se nastavuje velikost svařovacího proudu nepřímo – nastavením rychlosti posuvu tavicí se elektrody a napětí na oblouku. Velikost svařovacího proudu je přímo úměrná rychlosti odtavování drátu - obr. 9.



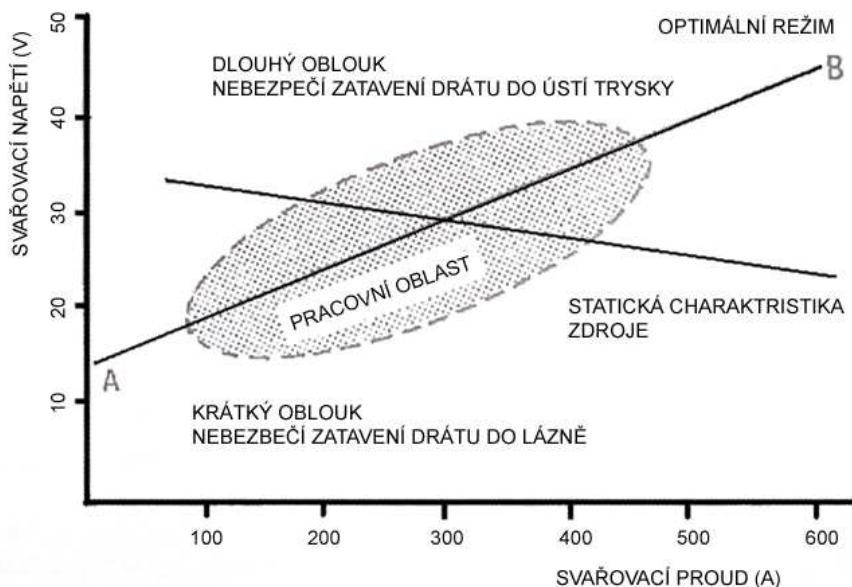
Obr. 9 – závislost svařovacího proudu na rychlosti odtavování drátu [3]

Z uvedených závislostí můžeme usoudit, že velikost svařovacího proudu je přednostně závislá na rychlosti posuvu drátu, mění se však i podle průměru drátu a druhu použitého ochranného plynu. Příslušné závislosti svařovacího proudu a rychlosti posuvu drátu se proto uvádějí v určitých rozptylových pásmech – obr. 10.



Obr. 10 – Závislost svařovacího proudu a rychlosti odtavování drátu[3]

Přerušení pásem na některých diagramech znázorňuje přechodovou oblast, při které dochází ke změně přenosu kovu v oblouku – například ze zkratového na sprchový přenos. Svařovací oblouk je stabilní jen v určitém rozsahu svařovacího proudu a napětí v oblouku. Výrobci svařovacích zařízení proto v návodech uvádějí optimální rozsahy v návodech na jejich obsluhu pro určité přesně definované podmínky svařování MAG (druh a průměr tavicí se elektrody, druh a množství ochranného plynu) obr. 11.



Obr. 11 – Příklad optimálního režimu MIG / MAG[3]

2.2 Zdroje pro svařování MAG

Pro svařování metodou MAG se používá stejnosměrný proud. Pro poloautomatické svařování MAG mají zdroje plochou statickou charakteristiku. Podavače drátu obvykle podávají drát konstantní rychlostí a při změně délky oblouku (je – li drát dlouhý, oblouk se zkracuje, je – li krátký, oblouk se prodlužuje) se mění poloha pracovního bodu na statické charakteristice a mění se významně svařovací proud, a tím dochází k rychlejšímu nebo pomalejšímu odtavování drátu. Délka oblouku se stabilizuje v rovnovážné poloze. Toto je možné jen při ploché statické charakteristice s konstantním napětím.

2.2.1 Rozdělení zdrojů pro MAG svařování

Pro MAG svařování existují tato zařízení:

- 1) Kompaktní s integrovaným podavačem drátu přímo ve svařovacím zdroji.
- 2) Zdroj s odděleným, často přenosným, podavačem drátu, kdy je podavač drátu se zdrojem spojen spojovacím kabelem a je umístěn přímo na zdroji, nebo je ho možno umístit mimo. Obvykle může být vzdálenost spojovacího vedení od zdroje k podavači 20 m u vodou chlazených hořáků a 40 m u vzduchem chlazených hořáků. Délka vedení od podavače drátu k vlastnímu hořáku bývá 3 až 5 m.

- 3) Kompaktní s přídatným podavačem drátu – Tato sestava je někdy nazývána push – pull – motor. Cívka drátu s podavačem, který tlačí drát, je ve zdroji a přídatný podavač, umístěný ve vzdálenosti 10 až 20 m, má kladky a pomáhá táhnout drát. Výhodou tohoto uspořádání je, že přídatný podavač nemá cívku drátu, a je tedy lehký. Hodí se zejména pro svařování na konstrukcích.
- 4) S podavačem přímo v hořáku, kdy jsou malá cívka drátu a podávací mechanismus umístěny přímo v hořáku. Používá se pouze při svařování hliníku s tenkým hliníkovým drátem.



Obr.12 - Zdroje MAG svařování – zdroj Variostar 1500 a Vario synergic 3400 od firmy Fronius [6]

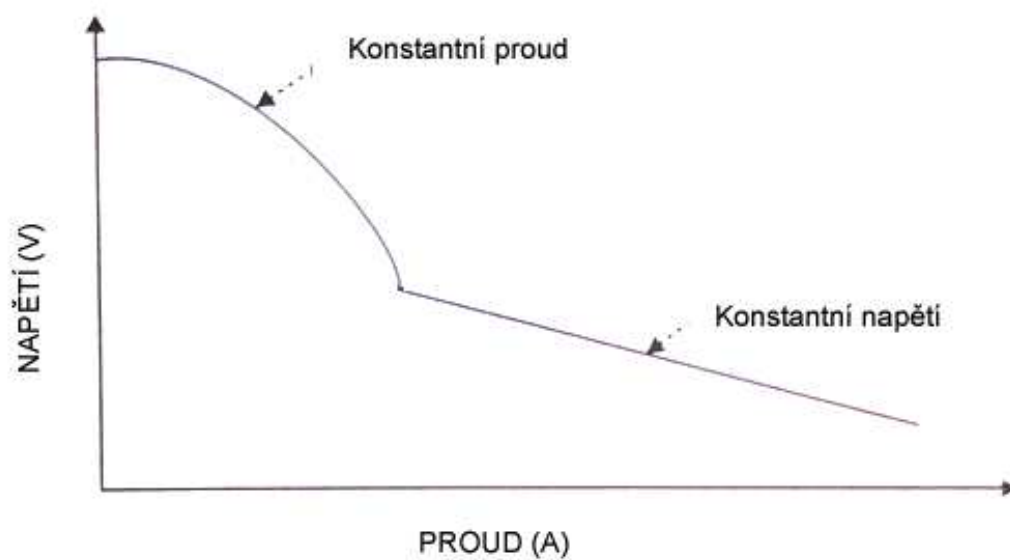
2.2.2 Současný trend vývoje zdrojů pro MAG svařování

Největší rozvoj a aplikace nových elektronických prvků ve svařovacích zdrojích pro obloukové svařování byl aplikován ve svařovacích zdrojích pro technologii MIG/MAG. Snahou je řídit přechod svarového kovu do tavné lázně ve sprchovém režimu.

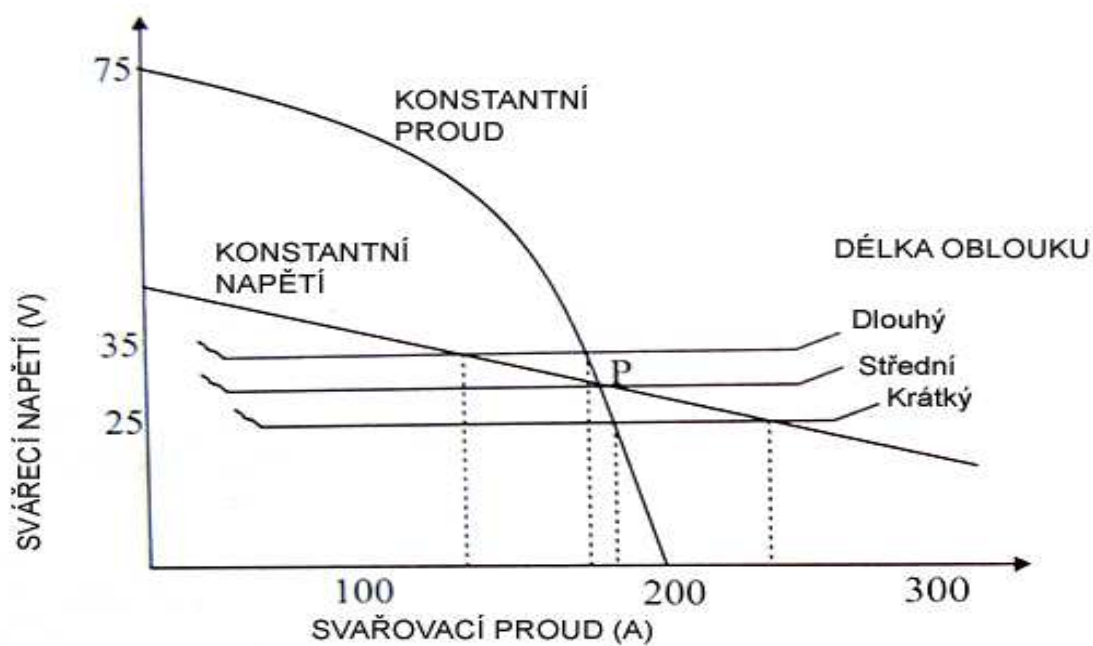
Svařovací zdroje pro řízení sprchového režimu metod MIG/MAG využívají tzv. invertorové zapojení zdrojové části s možností snadného řízení všech elektrických veličin, které se podílejí na celém svařovacím procesu. Tyto zdroje pracují s podavači drátu, které mají další nadstandardní funkce a jsou řízeny zdrojem. Tyto sestavy zdrojů a podavačů pak umožňují řídit přechod svarového kovu do tavné lázně ve sprchové (bezzkratové) oblasti tzv. pulzací svařovacího proudu a napětí, což s sebou přináší výhody pro uživatele těchto zdrojů:

- oblast použití sprchového přenosu je rozšířena směrem k nižším hodnotám svařovacích parametrů, např. při rychlosti podávání drátu SG2 ($\varnothing 1,2$ mm) $3,0 \text{ m.min}^{-1}$ a svařovacím proudem $70 \div 140 \text{ A}$ je plně zachován sprchový pulzní proces, přičemž intenzita oblouku je dostatečně nízká na to, aby bylo možné tento proces využít i pro svařování v polohách [13]. Oproti tomu u konvenčních zdrojů s CV (plochou) charakteristikou není dosažení sprchového přenosu u stejného typu drátu při posuvu drátu 3 m.min^{-1} vůbec možné a takovýto zdroj bude pracovat při uvedených parametrech pouze ve zkratovém režimu.
- sprchový přenos kovu s pulzním řízením nemá téměř žádný rozstřík, a tak není třeba čistit okolí svaru, což je cenné zvláště u vysokolegovaných materiálů;
- menší závar snižuje promísení přídavného materiálu se základním materiálem;
- pro tuto technologii lze použít téměř všechny typy plných i trubičkových přídavných materiálů

Nastavení všech parametrů svařování pulzním procesem (velikost pulzů, poměr pulzního proudu k základnímu proudu, frekvence pulzu, tvar pulzu atd.) je velice náročné a pro každou změnu podávací rychlosti drátu se mění. Tato "datová náročnost" nastavení celého pulzního svařovacího procesu si vynutila vstup dalších elektronických prvků - mikroprocesorů - pro jejich řízení. Každý výrobce těchto zdrojů vkládá do jejich řídicích obvodů odzkoušené a "sehrané" parametry, které zajistí nejlepší výsledek svařování. Tyto zdroje jsou řízeny většinou jediným nastavovacím prvkem, a tím je rychlost podávání drátu, která je určující pro nastavení všech ostatních parametrů pulzního oblouku včetně délky oblouku dané napětím na oblouku (tzv. synergické řízení). Některé zdroje umožňují obsluhu přednastavené parametry měnit v omezeném rozsahu tak, aby byla zachována funkčnost celého procesu, jednotlivé odzkoušené parametry pak lze ukládat do paměti [12]. Kombinace ploché a strmé charakteristiky může být získána z jednoho zdroje použitím různorodé elektrické odezvy - obr. 13. Na obr. 14 je mechanismus zachování oblouku pro CV (strmé) a CC (ploché) charakteristiky svařovacích zdrojů.



Obr. 13 – Typická volt – amperová charakteristika pro kombinované CC a CV zdroje [1]



Obr. 14 – Mechanismus zachování oblouku pro CV a CC zdroje[1]

2.3. SYSTÉM PRO MONITOROVÁNÍ A DOKUMENTACI PROCESU SVAŘOVÁNÍ POMOCÍ VÝPOČETNÍ TECHNIKY WELDMONITOR 3.5

Základní myšlenka tohoto zařízení je co nejdokonaleji monitorovat a zdokumentovat proces svařování a zajistit tak reprodukovatelnost svarových spojů v co nejvyšší kvalitě, zefektivnit a optimalizovat výrobu v oblasti svařování, usnadnit práci všem pracovníkům v oblasti svařování a kontroly všech profesí této činnosti.

2.3.1 Weld monitor hardware

Weld monitor hardware (obr. 15) – připojuje se na libovolný svařovací zdroj bez ohledu na jeho typ, výrobce, počet. Zároveň se systém připojuje k řídicímu počítači PC

- v základním provedení monitoruje průběh svařovacího proudu a napětí (modul WM-UI)
- v reálném čase měří s vysokou přesností efektivní hodnoty těchto veličin a zároveň kalkuluje důležitou veličinu, tzv. vnesené teplo
- umožňuje velmi rychlý záznam průběhu svařovacího napětí a proudu, kdy jsou zaznamenány změny v napětí a proudu až do frekvenčního rozsahu 25000Hz, což je nezbytná podmínka pro spolehlivou diagnostiku zkratových, impulsních a sprchových svařovacích procesů
- díky vysoké odolnosti proti průmyslovému rušení umožňuje nasazení i při automatizovaném procesu svařování pro sériové sledování kvality svařovaných výrobků
- má parametry ověřeny v akreditované metrologické zkušebně ČR

Přehled jednotlivých snímačů

- modul pro manuální ovládání programu
- modul pro snímání proudu a napětí
- snímač relativní vlhkosti vzduchu v okolí
- snímač teploty vzduchu v okolí
- snímač teploty materiálu
- snímač rychlosti pojezdu
- snímač průtoku plynu (hubice, ochrana kořene)

Přehled sledovaných veličin

- čas svařování
- rychlost svařování (průměrná)
- měrný tepelný příkon
- spotřeba drátu
- spotřeba ochranných plynů
- spotřeba energie



Obr. 15 – weld monitor hardware[8]

2.3.2 Weld monitor software

Program má intuitivní ovládání a umožňuje profesionálně zobrazovat výsledky reálných nasnímaných dat. Dále program umožňuje tisk protokolů dle stávajících evropských a mezinárodních norem v oblasti svařování. Je zde zakomponována otevřená databáze firem, svářečů a jejich zkoušek, zařízení, základních a přídatných materiálů, plynů, dozorů svařování, postupů svařování a záznamy průběhu svařování jednotlivých svarů s možností uložení digitální fotografie [8].

2.4 Ochranné plyny u MAG procesu svařování

2.4.1 Funkce ochranné atmosféry

Hlavní úlohou ochranných plynů je zamezit přístupu vzduchu do oblasti svařování tj. především chránit elektrodu, oblouk i tavnou lázeň, její okolí a kořen svaru před účinky vzdušného kyslíku, který způsobuje oxidaci, naplynění, pórovitost a propal prvků. Ochranné plyny mají také významný vliv na: typ přenosu kovu v oblouku, přenos tepelné energie do svaru, chování tavné lázně, hloubku závaru, rychlost svařování a další parametry svařování.

Jako ochranné plyny pro metodu MAG se používá čistý plyn oxid uhličitý CO_2 , nebo v současnosti častěji používané vícesložkové směsné plyny se základem argonu - $\text{Ar} + \text{CO}_2$, $\text{Ar} + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$ a $\text{Ar} + \text{He} + \text{CO}_2 + \text{O}_2$.

2.4.2 Důsledky působení ochranné atmosféry na proces svařování

Ochranný plyn svým složením a množstvím ovlivňuje tyto charakteristiky svařování:

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku
- metalurgické děje v době tvoření kapky, při přenosu kapky obloukem a ve svarové lázni
- síly působící v oblouku
- tvar a rozměry oblouku
- charakter přenosu kovu v oblouku, tvar a rozměry kapek a rychlost jejich přenášení obloukem
- tvar a rozměry průřezu svaru
- hladkost povrchu svaru a jeho přechod na základní materiál
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového spoje

Ochranné plyny

- inertní (Argon, helium, směsi), pro svařování hliníku, titanu a jiných reaktivních kovů
- aktivní (CO_2 , Argon s příměsí 2 – 5 % O_2), pro svařování ocelí, tyto plyny mají oxidační charakter a ovlivňují složení svarového kovu)

Ochranná atmosféra se volí podle druhu svařovaného materiálu, ovlivňuje však i přenos materiálu, rozstřík a teplotní poměry v oblouku.

2.4.3 Porovnání vlastností ochranných plynů

Vlastnosti	Ar + CO ₂	Ar + O ₂	CO ₂
Závar • normální poloha • nucená poloha	dobrý spolehlivější s rostoucím % CO ₂	dobrý může být kritický z důvodu předbíhání svarové lázně	dobrý spolehlivý
Tepelné zatížení hořáků	vysoké, snižuje se s rostoucím % CO ₂	vysoké, výkon může být omezen, jestliže je hořák příliš horký	nízké díky dobré tepelné vodivosti
Stupeň oxidace	nízký, stoupá s rostoucím % CO ₂	výrazně závisí na obsahu O ₂ (1 – 8%)	vysoký
Porozita	snižuje se s rostoucím obsahem CO ₂	vysoká citlivost	spolehlivá
Přemostitelnost mezery	zlepšuje se s poklesem % CO ₂	dobrá	horší než u směsných plynů
Tvorba rozstříku	stoupá s rostoucím % CO ₂	téměř bez rozstříku	vysoká, stoupá s rostoucím výkonem
Vnášení tepla do svaru	stoupá s rostoucím % CO ₂ nižší rychlost ochlazování menší nebezpečí vzniku trhlin	nejnižší vysoká rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin větší	vysoké malá rychlost ochlazování, nebezpečí vzniku trhlin malé
Typ přenosu kovu obloukem	všechny typy	všechny typy	zkratový, kapkový

2.4.4 Směsi plynů pro MAG svařování

Směs argon – oxid uhličitý

Pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí se často používají směsné plyny na bázi argonu s obsahem CO₂ od 10 do 25%. Ve srovnání se svařováním čistým argonem dochází k hlubšímu závaru, je menší citlivost ke vzniku pórů a tvoří se více strusky. Při použití vhodných parametrů lze svařovat zkratovým, sprchovým i impulsním přenosem s malým rozstříkem. Impulsním přenosem vždy, když není podíl CO₂ příliš velký. Zvláště vhodné je použití Ar/CO₂ směsného plynu pro svařování tenkých plechů. Směsi se zvýšeným podílem CO₂ jsou výhodně používány při svařování v polohách, při svařování shora dolů, při silnějším materiálu.

Směs argon – kyslík

V technické praxi se používají pro svařování MAG oceli směsné plyny na bázi argonu s kyslíkem (Ar/O_2). Obsah kyslíku bývá zpravidla od 1 do 5%. Kyslík v oblouku způsobuje sprchový přenos kovu, a to i při nízkém svařovacím proudu. Obsah kyslíku vede k široké, pouze mírně převýšené svarové housence, s povrchem ve tvaru jemných šupinek. Vzhledem k bezzkratovému přenosu kovu je malý rozstřík kovu. Teplota svarové lázně při použití Ar / O_2 směsí je zvýšená, Ve směsném plynu na bázi Ar/O_2 je možný stabilní sprchový i impulsní přenos kovu. Ve srovnání se směsí Ar/CO_2 pracovní rozsah pro sprchový přenos začíná již u nízkého výkonu. Kapky kovu jsou jemné.

Směsi argon – oxid uhličitý – kyslík

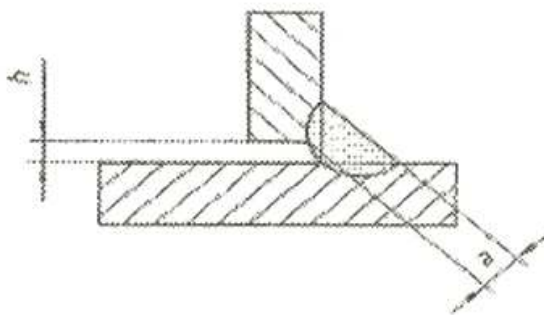
V praxi se používají i tříložkové směsné plyny . Obvykle obsahují 5 – 14% oxidu uhličitého, 3 – 6% kyslíku a zbytek argonu. Tyto směsné plyny jsou vhodné pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Pro austenitické chromniklové oceli s korozní odolností lze použít tyto směsné plyny pouze při obsahu CO_2 menším než 5%. V těchto směsích se spojují výhody Ar/CO_2 a Ar/O_2 . Směsi $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{O}_2$ jsou při zkratovém procesu velmi vhodné pro svařování tenkých plechů a tam, kde je potřeba překonat větší spáry. Při sprchovém přenosu při větších výkonech oblouku jsou kapky kovu v oblouku velice jemné a proces téměř bez rozstříku.

2.5 Hodnocení vad a určování stupňů jakosti koutového svaru dle ČSN EN ISO 5817

U svarového spoje musí být obvykle odděleně hodnocen každý jednotlivý druh vady. Různé druhy vad vyskytující se v libovolném průřezu spoje, které zeslabují plochu průřezu, mohou vyžadovat zvláštní pozornost (Obr. 25). Mezní hodnoty vad pro vícenásobné vady jsou použitelné pouze v případech, kde nejsou překročeny požadavky na jednotlivou vadu. Jakékoliv dvě sousedící vady oddělené od sebe na vzdálenost, která je menší než hlavní rozměr menší vady, musí být posuzovány jako jednotlivá vada. [10].

2.5.1 Špatné sestavení koutových svarů

Mezery mezi spojovanými částmi přesahující příslušné mezní hodnoty mohou být v některých případech kompenzovány odpovídajícím zvětšením velikosti koutového svaru.

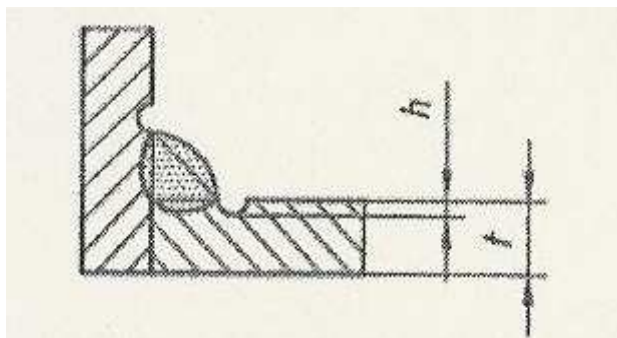


Obr. 16 Špatné sestavení koutových svarů

Tab. 1 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
0,5 až 3	$h \leq 0,5 + 0,1a$	$h \leq 0,3 + 0,1a$	$h \leq 0,2 + 0,1a$
> 3	$h \leq 1 + 0,3a$, max 4	$h \leq 0,5 + 0,2a$, max 3	$h \leq 0,5 + 0,1a$, max 2

2.5.2 Zápal

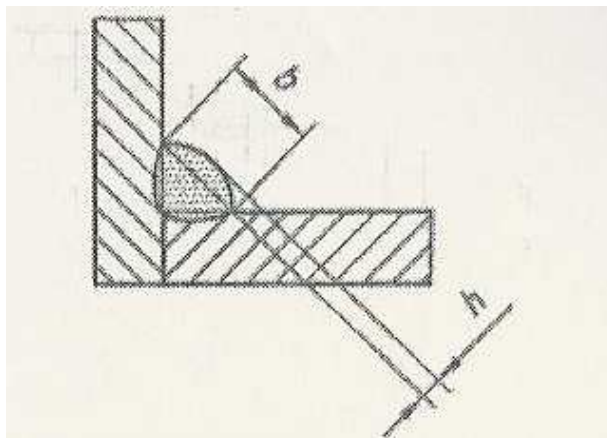


Obr. 17 Zápal

Tab. 2 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
0,5 až 3	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,1t$	nepřístupné
> 3	$h \leq 0,2t$, max 1	$h \leq 0,1t$, max 0,5	$h \leq 0,05t$, max 0,5

2.5.3 Nadměrné převýšení koutového svaru

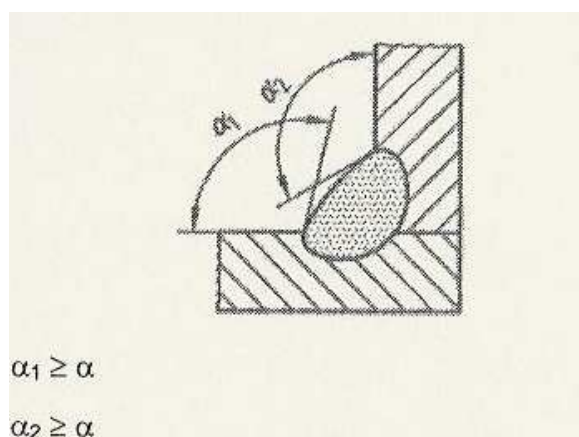


Obr. 18 Nadměrné převýšení koutového svaru

Tab.3 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	$h \leq 1 + 0,25b$, max 5	$h \leq 1 + 0,15b$, max 4	$h \leq 1 + 0,1b$, max 3

2.5.4 Strmý přechod svaru



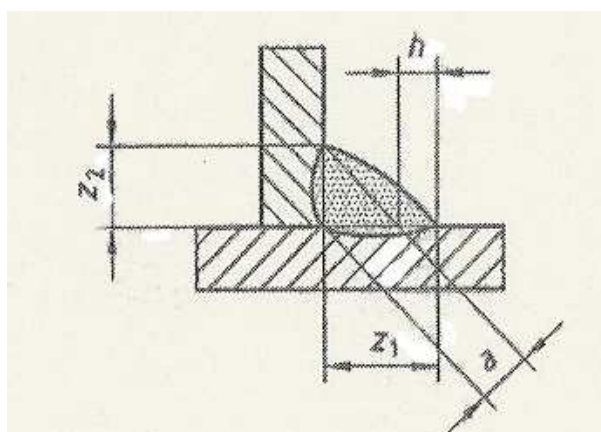
Obr. 19 Strmý přechod svaru

Tab.4 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$

2.5.5 Nadměrná asymetrie koutového svaru

Jen v případech, kde nebyl předepsán symetrický koutový svar.



Obr. 20 Nadměrná asymetrie koutového svaru

Tab.5 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	$h \leq 2 + 0,2a$	$h \leq 2 + 0,15a$	$h \leq 1,5 + 0,15a$

2.5.6 Pórovitost kořene

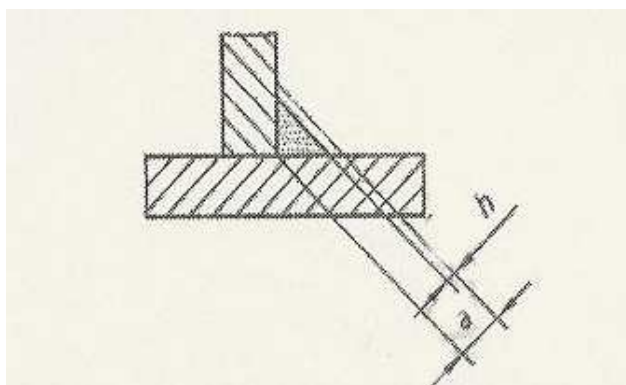
Porézni kořen svaru způsobený tvorbou bublin ve svarovém kovu během tuhnutí.

Tab.6 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	místně přístupné	nepřístupné	nepřístupné

2.5.7 Podkročení velikosti koutového svaru

Nepoužitelné u metod s prokázanou větší hloubkou průvaru.



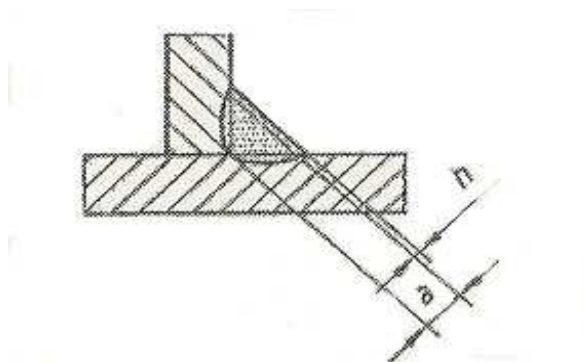
Obr. 21 Podkročení velikosti koutového svaru

Tab. 7 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
0,5 až 3	$h \leq 0,2 + 0,1a$	$H \leq 0,2$	nepřístupné
> 3	$h \leq 0,3 + 0,1a$, max 2	$h \leq 0,3 + 0,1a$, max 1	nepřístupné

2.5.8 Překročení velikosti koutového svaru

Kdy skutečná velikost koutového svaru je příliš velká.



Obr. 22 Překročení velikosti koutového svaru

Tab. 8 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	neomezeno	$h \leq 1 + 0,2a$, max 4	$h \leq 1 + 0,15a$, max 3

2.5.9 Trhlina

Všechny druhy trhlin, mimo mikrotrhlin a kráterových trhlin jsou pro všechny třídy jakosti nepřístupné.

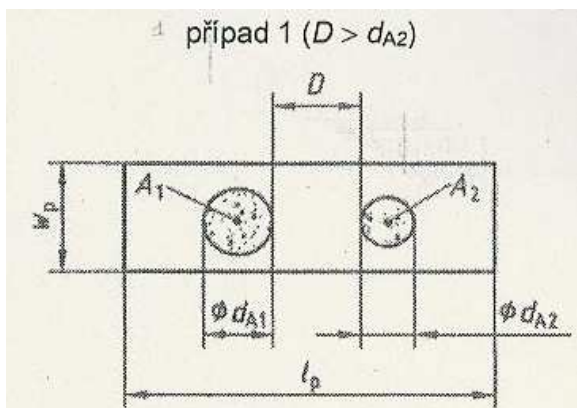
2.5.10 Pórovitost a shluky pórů

Maximální rozměr jednotlivého póru pro koutové svary určuje Tab. 9

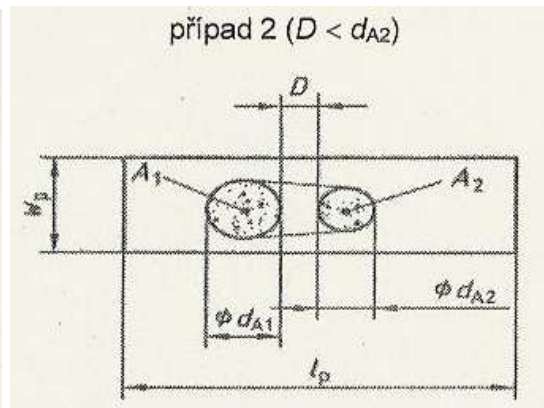
Tab. 9 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
$\geq 0,5$	$d \leq 0,4a$, max 5	$d \leq 0,3a$, max 4	$d \leq 0,2a$, max 3

Mezní stav pro shluky pórů určují dva případy (Obr. 39, 40)



Obr. 23 Min. vzdálenost pórů



Obr. 24 Min. vzdálenost pórů

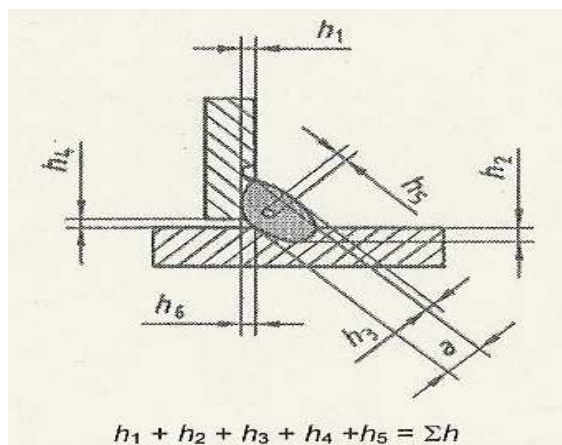
Případ 1:

Součet různých ploch pórů ($A_1 + A_2$) v porovnání vyhodnocované ploše $l_p \times W_p$

Případ 2:

Pokud je D menší než d_{A1} nebo d_{A2} , podle toho, která z hodnot je menší, musí být plocha určená obalovou křivkou obsahující plochy shluku pórů $A_1 + A_2$ považována za jednu plochu vad.

2.5.11 Vícenásobné vady



Obr. 25 Vícenásobné vady

Tab. 10 Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti

Tloušťka plechu (mm)	Mezní hodnoty vad pro stupně jakosti (mm)		
	D	C	B
0,5 až 3	nepřístupné	Nepřístupné	nepřístupné
> 3	$\Sigma h \leq 0,4t$ nebo $0,25a$	$\Sigma h \leq 0,3t$ nebo $0,2a$	$\Sigma h \leq 0,2t$ nebo $0,15a$

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo posoudit vliv vybraných parametrů na geometrii svaru u svařování MAG. Geometrii svaru jsme posuzovali na jednotlivých vzorcích, které byly svařovány za různých svařovacích podmínek. U každého svařovaného vzorku jsme simulovali jednotlivé změny ve svařovacím procesu: uzavření přívodu (regulace průtoku) ochranného plynu, vyosení jednotlivých vzorků, změny posuvu drátu, změny svařovacího napětí. Vhodné parametry pro svaření experimentálních vzorků jsme zjistili u zkušebních vzorků (v předchozích pracích ing. Hrstky – Doc. Neumanna [11]). Cílem této diplomové práce bylo též využít monitorovací systém WeldMonitor, namonitorovat jednotlivé svařovací parametry a z jednotlivých záznamů výstupních signálů svařovacích parametrů vyhodnotit vlivy simulovaných vad. U všech vzorků byly provedeny metalografické výbrusy a vyhodnocena rozměrová analýza svaru. Výsledky byly srovnány s normou ČSN EN ISO 5817. Zjišťovali jsme, (jakou mírou ovlivňují simulované vady geometrii koutového svaru), a zda všechny naměřené svary odpovídají výše uvedeným podmínkám podle této normy.

3.2 Laboratoř svařování MAG s lineární pojezdovou dráhou

Celkové uspořádání pracoviště je na obr. 26. Na obrázku vidíme svařovací zdroj Migatronik BDH 550 Puls Syn, lineární dráhu, přípravek na upnutí jednotlivých vzorků a zařízení pro monitorování svařovacího procesu. Pro vyhodnocení jednotlivých výbrusů svarů je k dispozici metalografická laboratoř.



Obr. 26 – Laboratoř svařování MAG

3.2.1 Svařovací zdroj Migatronik BDH 550

Invertorový zdroj s možností pulzního režimu a synergického ovládání vybavený hořáky pro ruční, automatizované svařování oceli a ruční svařování hliníku. Možnosti tohoto zdroje jsou automatizované svařování na lineární pojezdové dráze a monitorování parametrů svařování vestavěným systémem Infoweld .

Svařovací zdroje BDH Puls Sync jsou vhodné i pro komplikované svařovací operace. Díky synergickému řízení zdroj automaticky nastaví všechny sekundární parametry podle nastaveného proudu.

Typ		550 MWF
Napájecí napětí		3 x 400 V
Rozsah proudu		5 - 550 A
Zatěžovatel 100%		400 A
Zatěžovatel 60%		500 A
Napětí naprázdno		80 V
Krytí		IP 21
Rozměr, cm		110x64x141
Hmotnost		155 kg



Obr. 27 – Svařovací zdroj Migatronik BDH 550

3.2.2 Metalografická laboratoř

Na obr. 28 je metalografická laboratoř, která je vybavena optickým mikroskopem NEOPHOT 21, digitální kamerou Nikon, která je napojena na počítač s vyhodnocovacím systémem geometrie svarů, softwarem NIS Elements 2.3 CZ.



Obr. 28 – Metalografická laboratoř

3.2.3 Přídavný materiál

Drát, hlazený **ESAB OK Aristorod 12.50, Ø 1,2 mm**, nepoměděný svařovací drát nové generace je určený pro svařování většiny běžných nelegovaných konstrukčních ocelí především tam, kde jsou vyžadovány vysoké svařovací parametry a nejvyšší podávací rychlosti drátu, tj. na mechanizovaných a robotizovaných pracovištích [9].

Technické parametry přídavného materiálu

Chemické složení drátu: C – 0,1 %, Si – 0,9 %, Mn – 1,5 %

Doporučený svařovací proud: 120 – 380 A

Rychlost podávání: 2,5 – 15 m/min

Mechanické vlastnosti svarového kovu: mez kluzu – 470 MPa

mez pevnosti – 560 MPa

tažnost - 26%

3.2.4 Ochranný plyn

Třísložková směs ochranného plynu firmy AIR PRODUCTS

FERROMAXX PLUS 68% Ar, 12% CO₂, 20% He

Plyn pro svařování uhlíkové konstrukční oceli, zlepšuje kvalitu svaru, snižuje riziko vzniku vad, není příliš citlivý na nastavení parametrů při svařování. Snižuje rozstřík nataveného materiálu a zanechává hladký a plochý povrch svarové housenky.

3.2.5 Svařované vzorky

Vzorek T 100 x 250 mm, plech tloušťka 8 mm, délka svaru cca 240 mm.

Materiál – ČSN EN 10027 – S275JR

Chemické složení

Hodnoty chemického složení a hodnoty mechanických vlastností základního materiálu svařovaných vzorků, byly získány z Lexikonu technických materiálů [14].

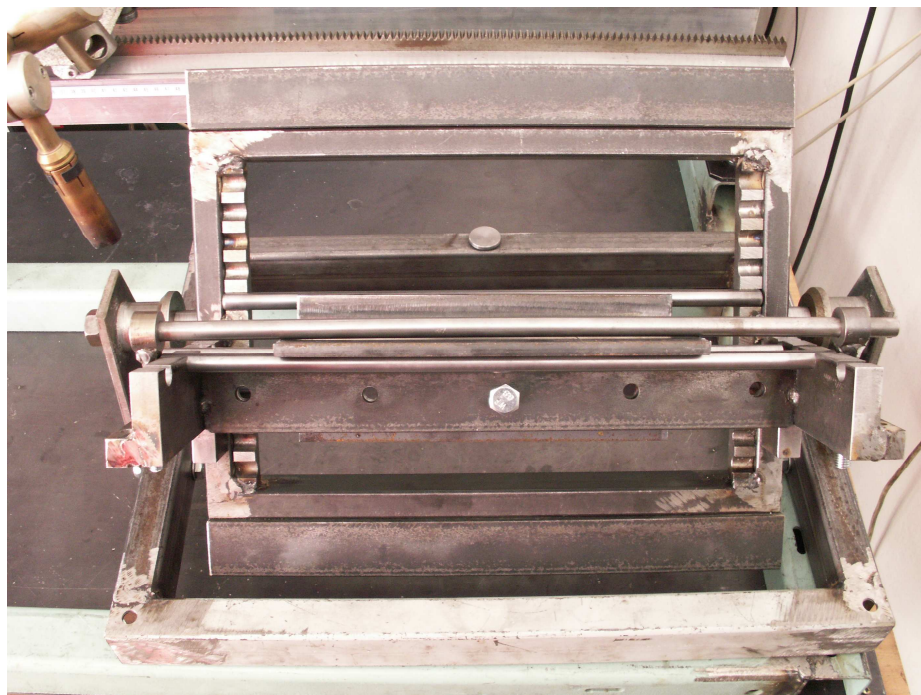
Obsah C	0,17 %
Obsah N	0,009 %
Obsah P	0,045 %
Obsah S	0,045%

Mechanické vlastnosti

Mez kluzu	235 Mpa
Mez pevnosti	340 – 470 Mpa
Tažnost	27%
Modul pružnosti	206 Gpa

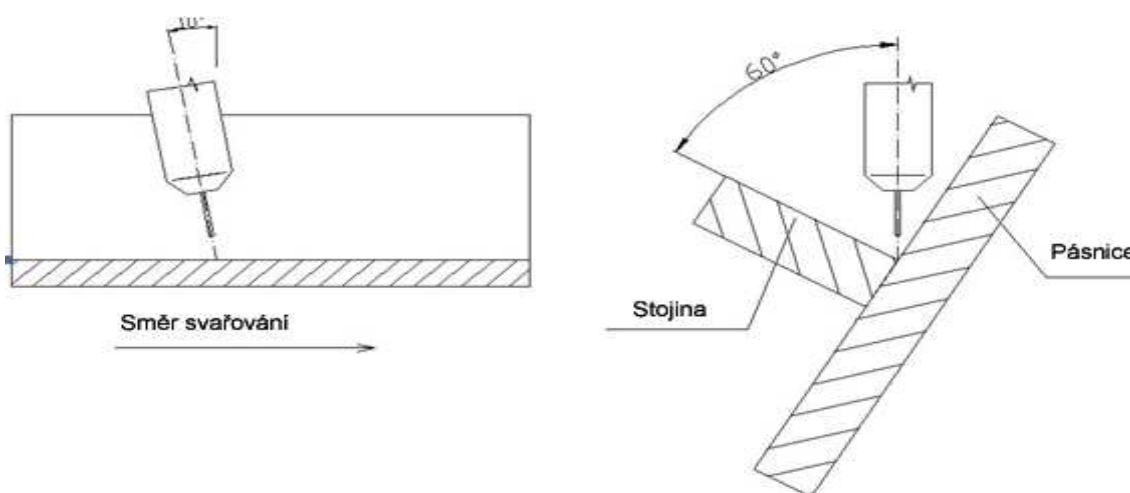
3.2.6 Způsob svařování vzorků

Automatické MAG svařování koutových svarů ocelových plechů v poloze PA do úžlabí tahem bez rozkyvu ve svařovacím přípravku – obr.29.



Obr. 29 – Upnutý vzorek připravený ke svařování

Svařování vzorků bylo provedeno pod úhlem 60° v poloze do úžlabí dle normy ČSN EN ISO 6947 s úhlem nastavení hořáku 90° v rovině kolmé na směr svařování podle obr. Osa hořáku byla nastavena s vyosením $0,75\text{ mm}$ od osy kořene svaru směrem ke stojně. Polohování svarku a hořáku umožňuje získat co největší závar ve stykové ploše stojiny a pásnice. Úhel náklonu hořáku v rovině rovnoběžné se směrem svařování je 10° . Jedná se o svařování dopředu. Délka svaru je 250 mm . Svary jsou zhotoveny letmým startem a letmým koncem. Průtok ochranného plynu byl nastavován v závislosti na režimu svařování.



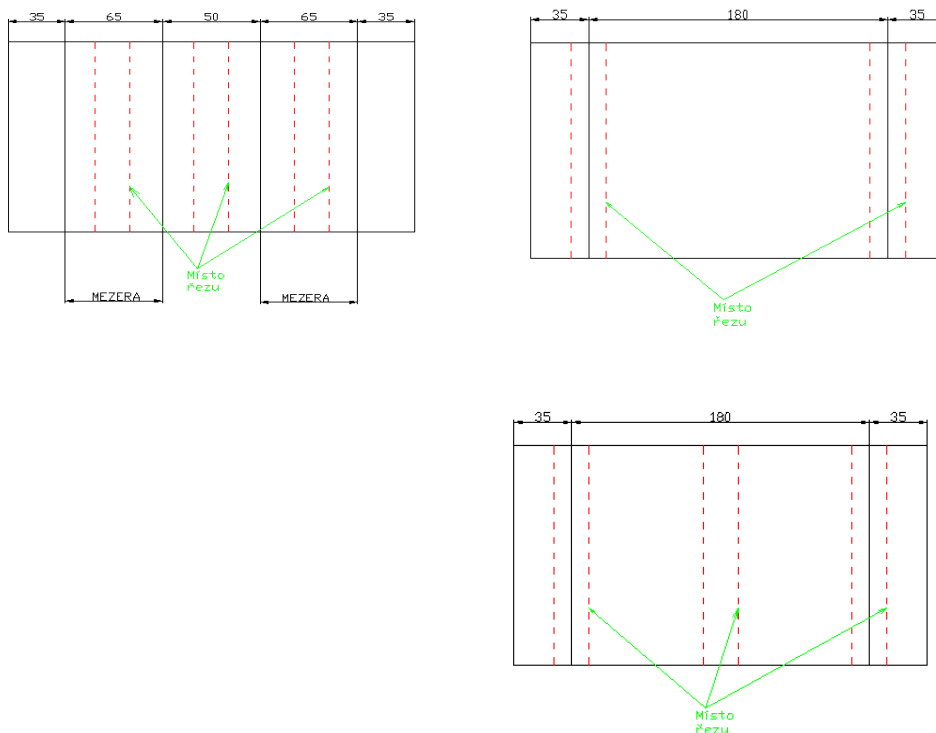
Obr. 30 - Schéma ustavení pásnice pro polohu PA [11]

3.2.7 Monitorování svařovacích parametrů procesu MAG pomocí programu WeldMonitor v. 3. 5

WeldMonitor je systém pro monitorování a dokumentaci svařovacího procesu. Připojením snímačů proudu, napětí, rychlosti svařování, rychlosti podávání drátu se svařovacím zdrojem a za pomoci monitorovacího programu WeldMonitor můžeme průběžně monitorovat základní parametry procesu svařování v celém časovém rozsahu. Záznamy svařovacích parametrů získáváme jak v podobě dat, které se dají dále vyhodnocovat, tak i v podobě grafické tj.v grafech naměřených veličin. Tento program umožňuje detailní sledování hlavních parametrů – proudu a napětí se vzorkovací frekvencí 25 kHz .

3.3 Způsob provádění experimentu

Na základě tabulky č. 11 byly pro jednotlivá měření nastaveny na zdroji BDH 550 hodnoty napětí U a rychlosti posuvu drátu v_d . Na lineárním svařovacím automatu byla nastavena rychlost svařování v . Bylo svařeno celkem 8 vzorků. Dva vzorky byly s mezerami 0,5 a 1 mm, dva vzorky s mezerami 1,5 a 2mm a čtyři vzorky byly bez mezer. Sedm vzorků bylo nařezáno tak, že z každého jsme získali tři výbrusy, jeden byl nařezán pro získání dvou výbrusů (obr.31) U jednotlivých vzorků jsme simulovali vyosení, snížení průtoku plynu. V tabulce 12 jsou popsány simulace jednotlivých vzorků. Svařovali jsme ve dvou režimech.



Obr.31 – Místa řezů u jednotlivých vzorků

Svařovací parametry – režim 1	
V _d	8,5 m / min
V _s	0,55 m / min
U	33 V
průtok plynu	18 l / min
L _c	17 mm
e	0,75 mm

Svařovací parametry – režim 2	
V _d	8,7 m / min
V _s	0,55 m / min
U	30 V
průtok plynu	18 l / min
L _c	14 mm
e	0,75 mm

Tab.11 – Režimy svařování

č. vzorku	mezera	simulace
1	1,5 + 2mm	režim 1 bez simulace
2	bez mezery	režim 1, snížení průtoku plynu v polovině délky svaru z 18 l na 8 l
3	0,5 + 1 mm	režim 2, bez simulace
4	1,5 + 2 mm	režim 2, bez simulace
5	bez mezery	režim 1, snižování průtoku plynu z 18 l na 6l a následně na 4 l. (označeno na vzorku)
6	bez mezery	režim 1, simulace vyosení hořáku – seřízení na střed přípravku a vzorku
7	bez mezery	režim 2 bez simulace
8	0,5 + 1 mm	režim 1, bez simulace

Tab.12 – Svařování jednotlivých vzorků, simulace

3.3.1 Vizuální kontrola a rozměrová analýza svaru

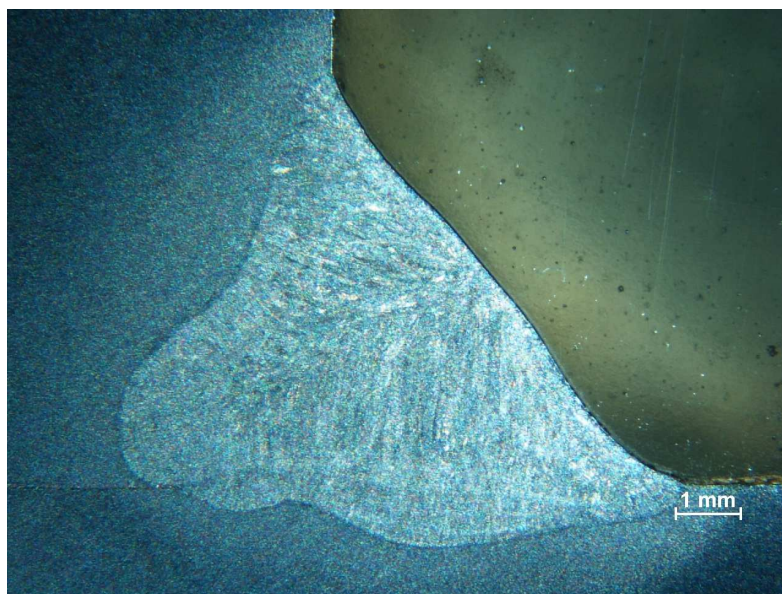
Limitující hodnotou tvaru svaru jsou kritéria jakosti – mezních hodnot vad jakosti svaru B a C (vysoký, střední) dle ČSN EN ISO 5817:

- vrubů: $h \leq 0,5 \text{ mm}$ (1 mm)

- převýšení: $r \leq 1 \text{ mm} + 0,1w$ (1 mm + 0,15 w)

Svar byl nejdříve vyhodnocen vizuálně s cílem posoudit povrch, kresbu a tvar svarové housenky, rovnoměrnost svaru po celé délce a plynulost přechodu do základního materiálu. Jednotlivé zkušební vzorky byly získány podélným odříznutím plechu a příčným řezem v místě typickém pro celý svar

U každého vzorku byly v daných místech viz.obr ze str.44 provedeny řezy sraženy hrany, poté byl zarovnán na stolní brusce a očištěn rotačním kartáčem. Dalším krokem bylo zalití vzorku do dentakrylu a po jeho vytvrzení byl proveden makrovýbrus na metalografické brusce (obr.32) brusným papírem o velikosti zrn 120, 220, 400 a 800. Posledním krokem mechanických úprav bylo leštění s použitím diamantové pasty. Vzorky se naleptaly 3% Nitalem. Snímky makrostruktur svarů byly zhotoveny na metalografickém mikroskopu Neophot 21. Nasnímány byly pomocí kamery Nikon DS – L1. Kamera je přímo propojena s analytickým softwarem NIS Elements 3.2 CZ, kde bylo provedeno vlastní měření rozměru svarů (příklad snímku obr.32)



Obr. 32 – Snímek makrostruktury svaru

Pomocí měřicího softwaru NIS ELEMENTS byla provedena rozměrová analýza

a měřily se tyto rozměry :

a – výška svaru

b a c – odvěsny svaru

v – nosná velikost svaru $v = a + z$

z – skutečný závar

r – převýšení svaru

w – šířka housenky

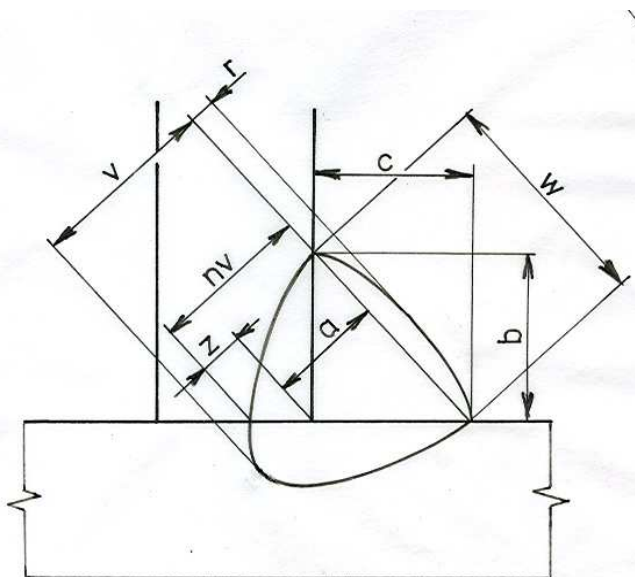
Plochy svaru :

Pc – celková plocha svaru

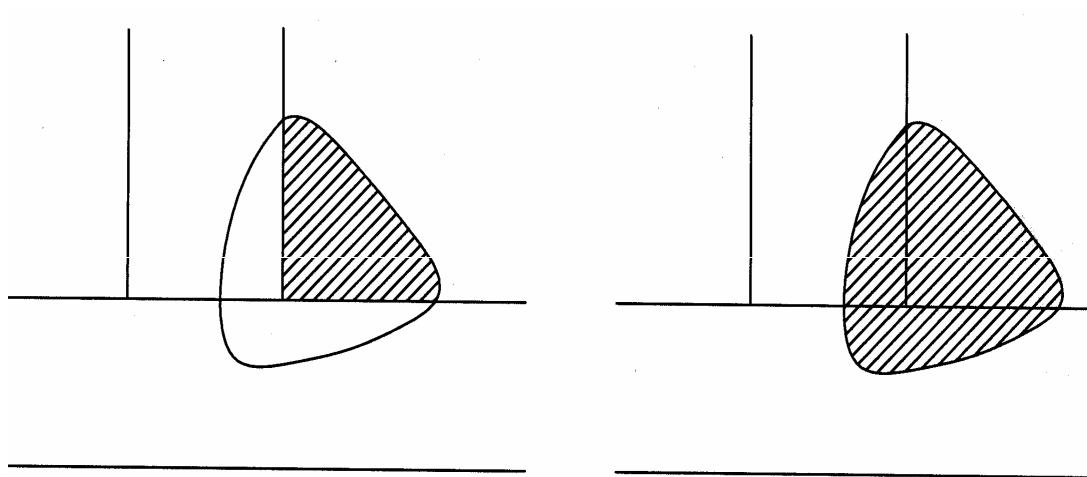
Pp – plocha převýšení

Pm – plocha závaru

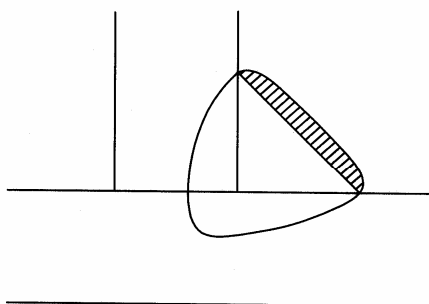
Získané hodnoty jsou uvedeny v tabulkách naměřených hodnot



Obr. 33 Vyhodnocované rozměry svaru [11]

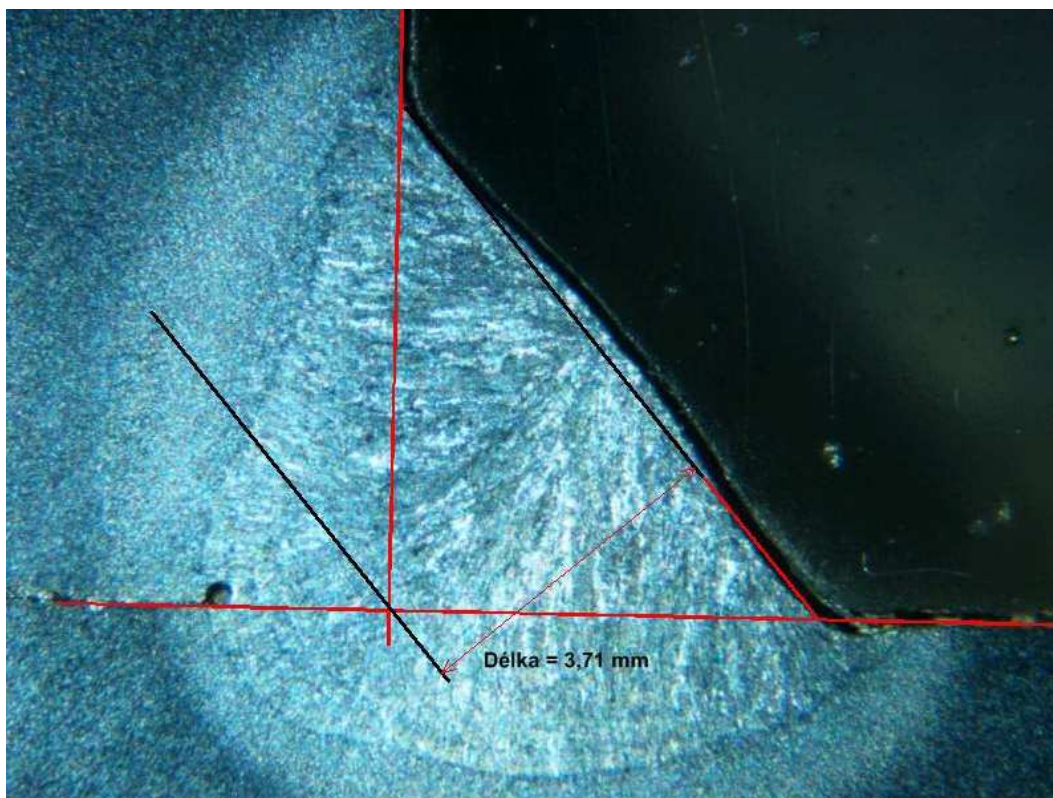
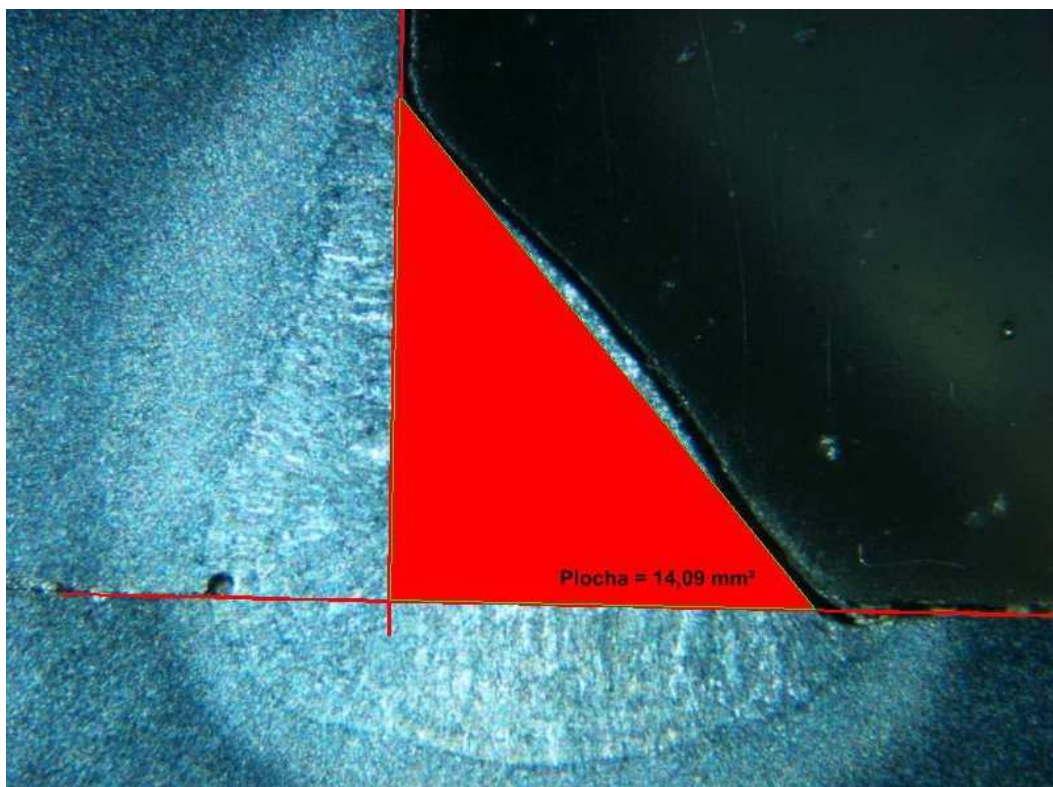


Obr. 34 Zobrazení ploch P_M a P_C ve svaru



Obr. 35 Zobrazení plochy P_p ve svaru

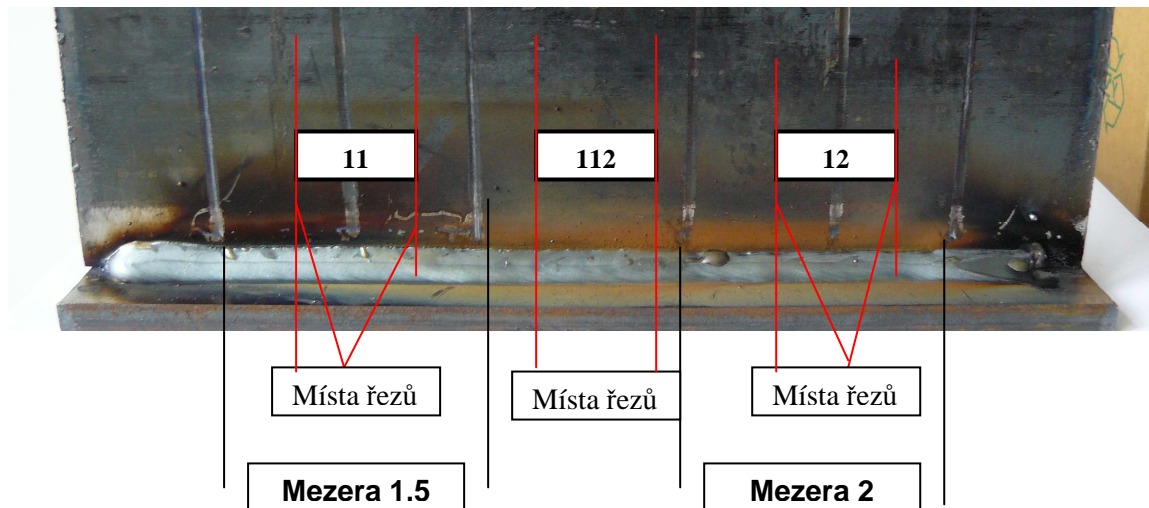
Na obr. 36 je ukázka měření pomocí programu NIS Elements 3.2 . Jedná se o měření plochy návaru a ukázka měření délkových rozměrů.



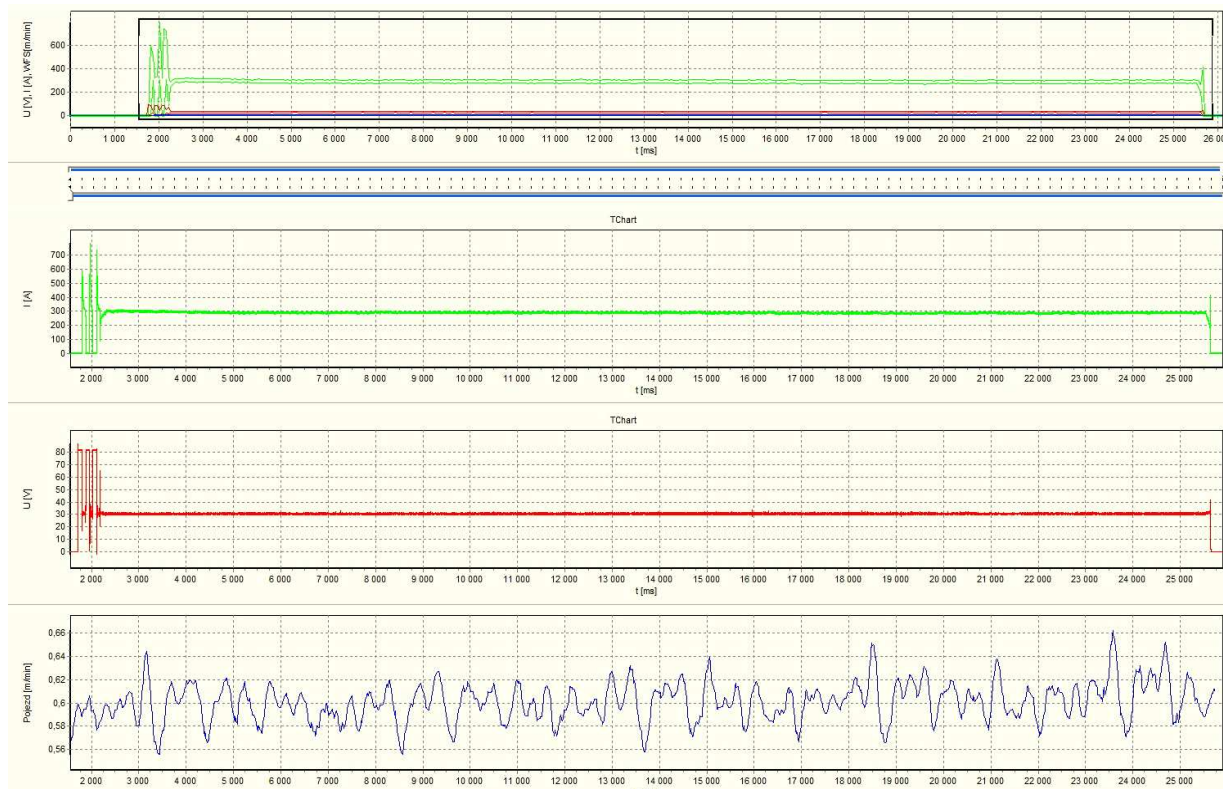
Obr. 36 – měření pomocí programu NIS Elements

3.3.2 Vzorek č. 1

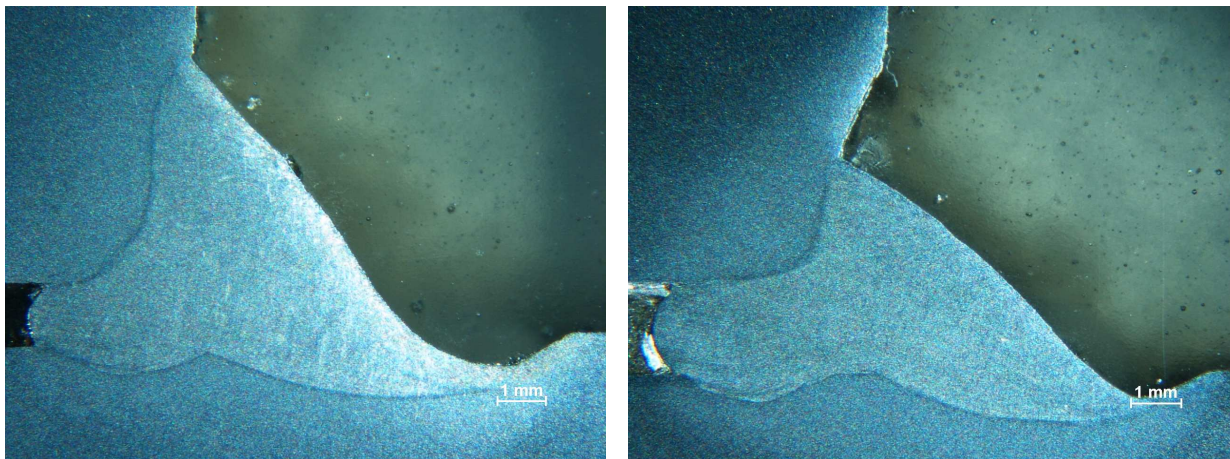
Vzorek č. 1 s mezerami 1,5 + 2 mm byl svařován v nastavení režimu 1 (tab. 13), bez simulace. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr.(37, 38, 39).



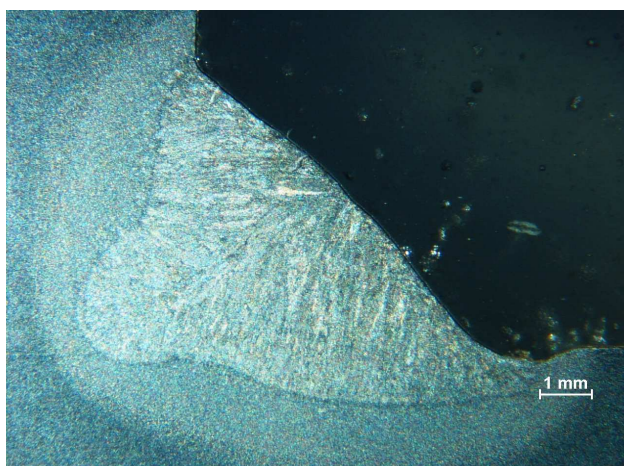
Obr. 37 – Svařený vzorek č. 1



Obr. 38 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 1



obr. 39 – snímek makrostruktury svarů 11 a 12



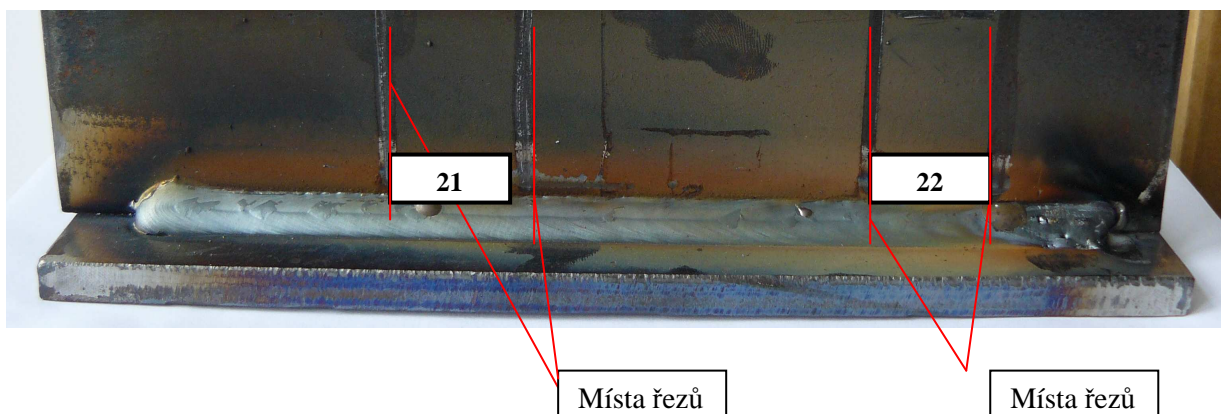
Obr. 40 – snímek makrostruktury svaru 112

Svařovací parametry – vzorek č. 1	
V _d	8,5 m / min
V _s	0,55 m / min
U	33 V
průtok plynu	18 l / min
Lc	17 mm
e	0,75 mm

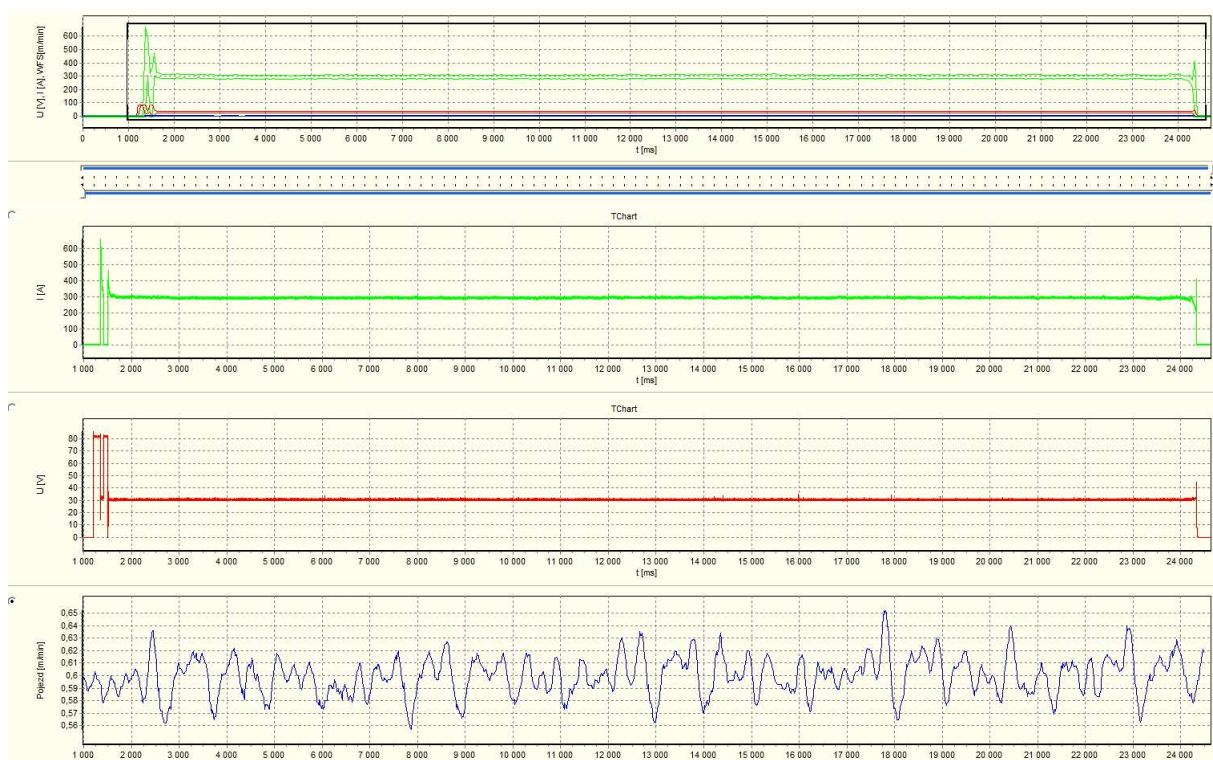
Tab. 13 – parametry svařování – vzorek č. 1

3.3.3 Vzorek č. 2

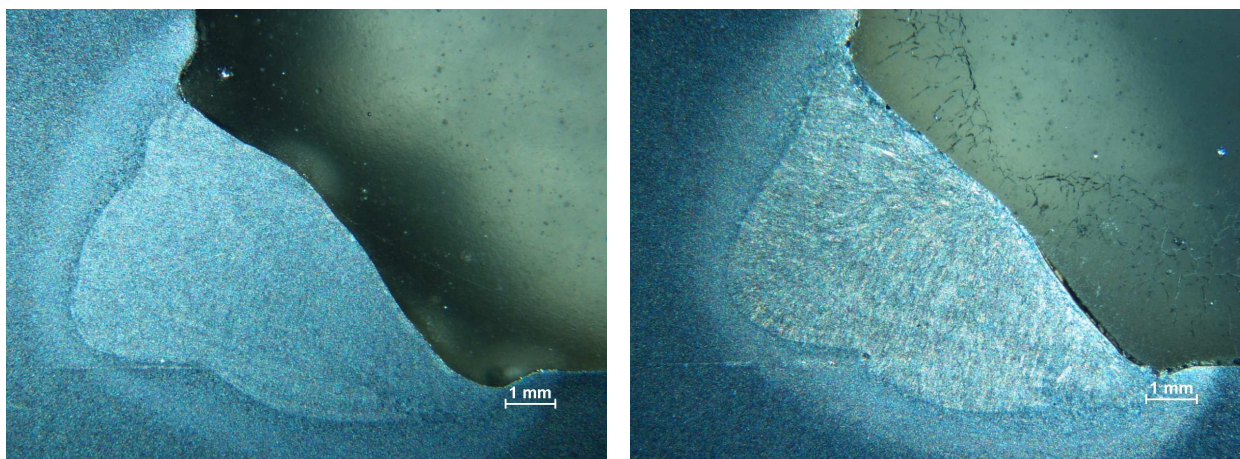
Vzorek č. 2 bez mezer byl svařován v nastavení režimu 1 (tab. 14), se simulací snížení průtoku plynu z 18 l / min na 8 l / min zhruba v polovině délky svaru. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr. (41, 43).



Obr. 41 – svařený vzorek č. 2



Obr. 42 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 2



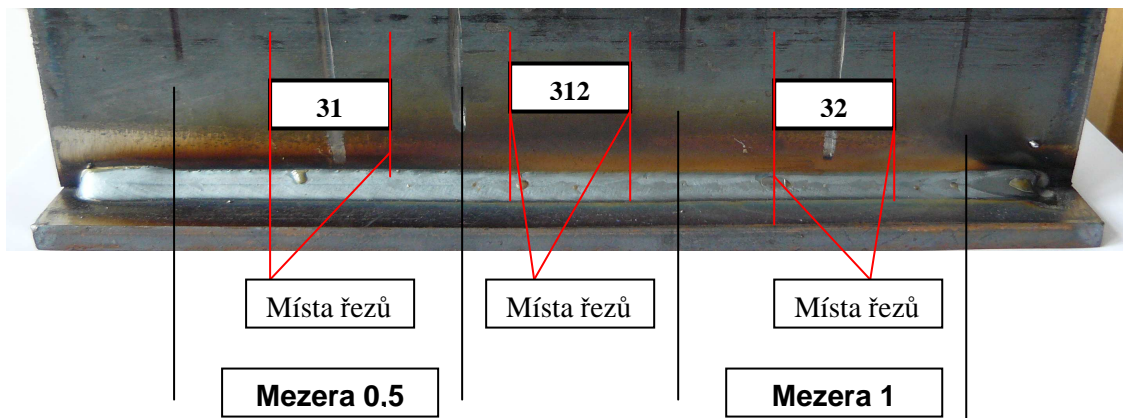
Obr. 43 – snímek makrostruktury svarů 21 a 22

Svařovací parametry – vzorek č. 2	
V_d	8,5 m / min
V_s	0,55 m / min
U	33 V
průtok plynu	18 l / min, v polovině snížení na 8 l / min
Lc	17 mm
e	0,75 mm

Tab. 14 – parametry svařování – vzorek č. 2

3.3.4 Vzorek č. 3

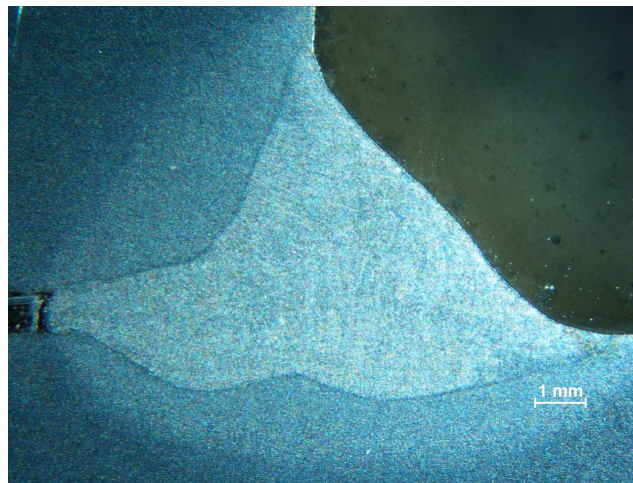
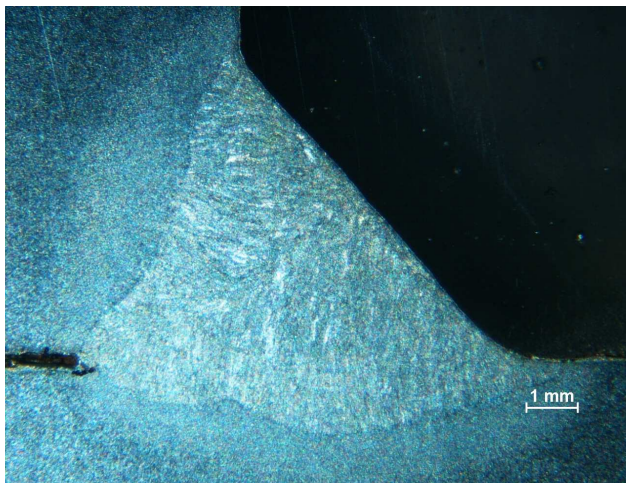
Vzorek č. 3 s mezerami 0,5 + 1 mm byl svařován v nastavení režimu 2 (tab. 15), bez simulace. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr.(44, 46, 47).



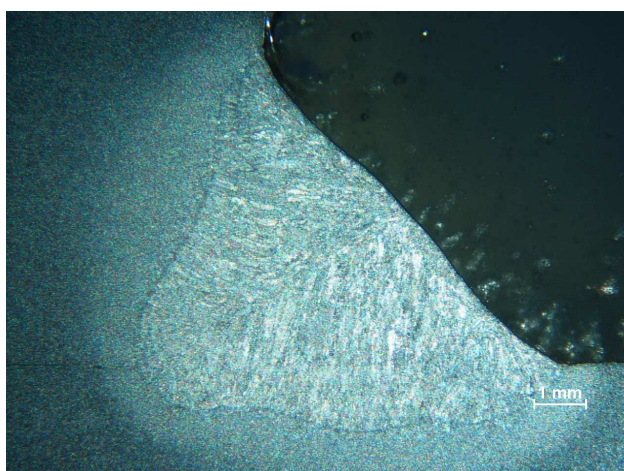
Obr. 44 – svařený vzorek č.3



Obr. 45 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 3



Obr. 46 – snímky makrostruktury svarů 31 a 32



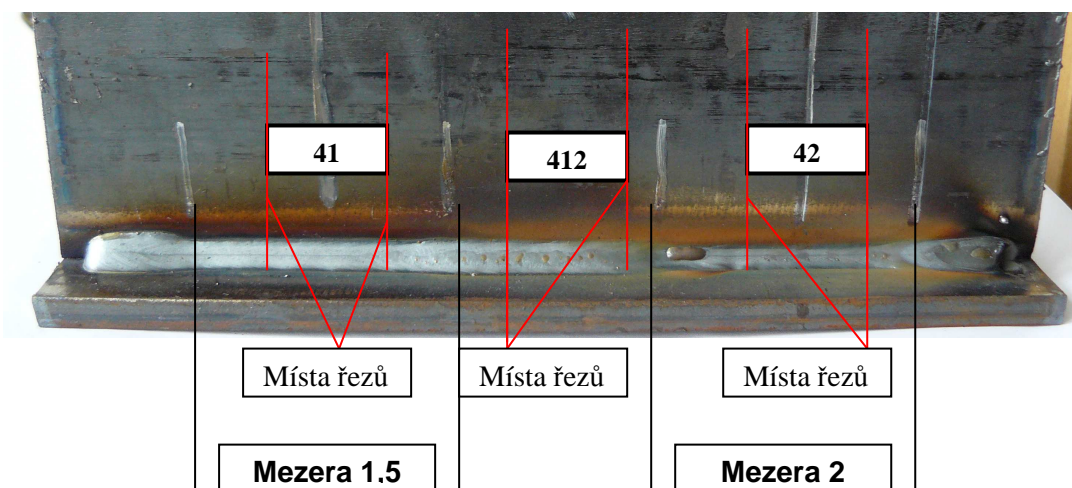
Obr. 47 – snímek makrostruktury svaru 312

Svařovací parametry – vzorek č. 3	
V_d	8,7 m / min
V_s	0,5 m / min
U	30 V
průtok plynu	18 l / min
L_c	14 mm
e	0,75 mm

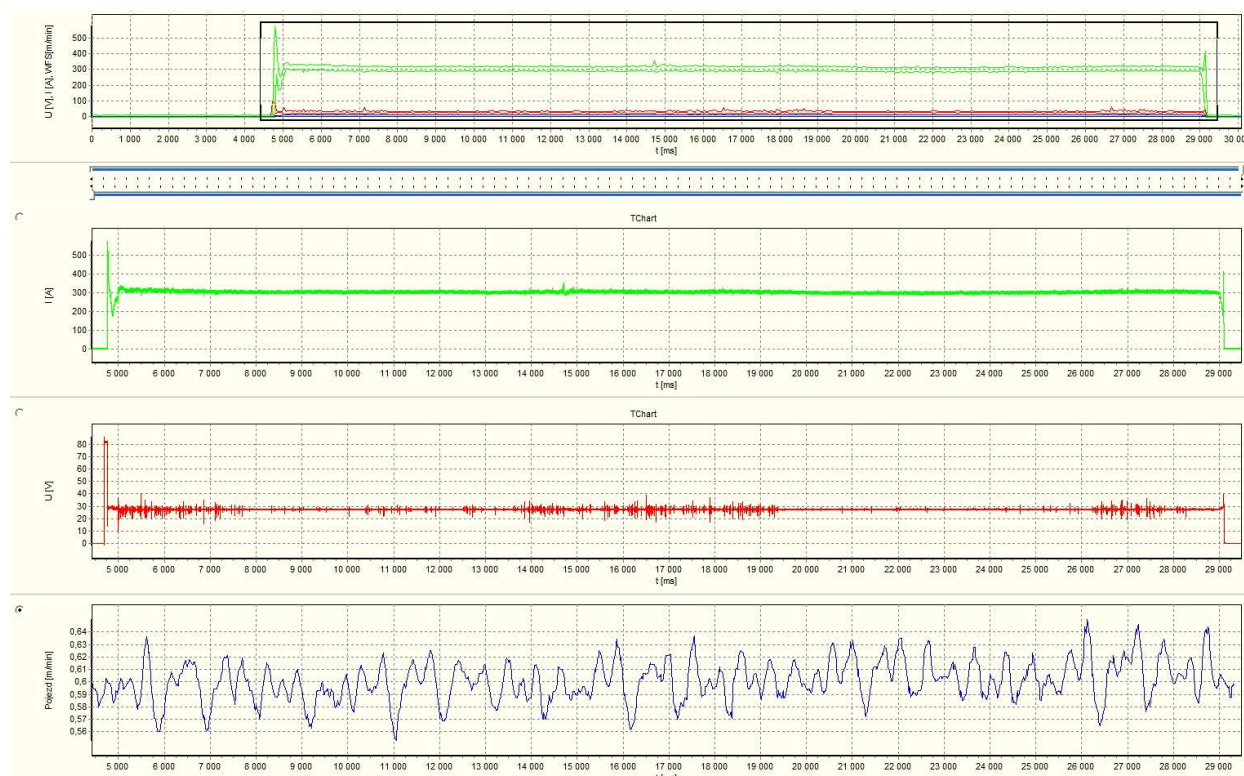
Tab. 15 – parametry svařování – vzorek č. 3

3.3.5 Vzorek č. 4

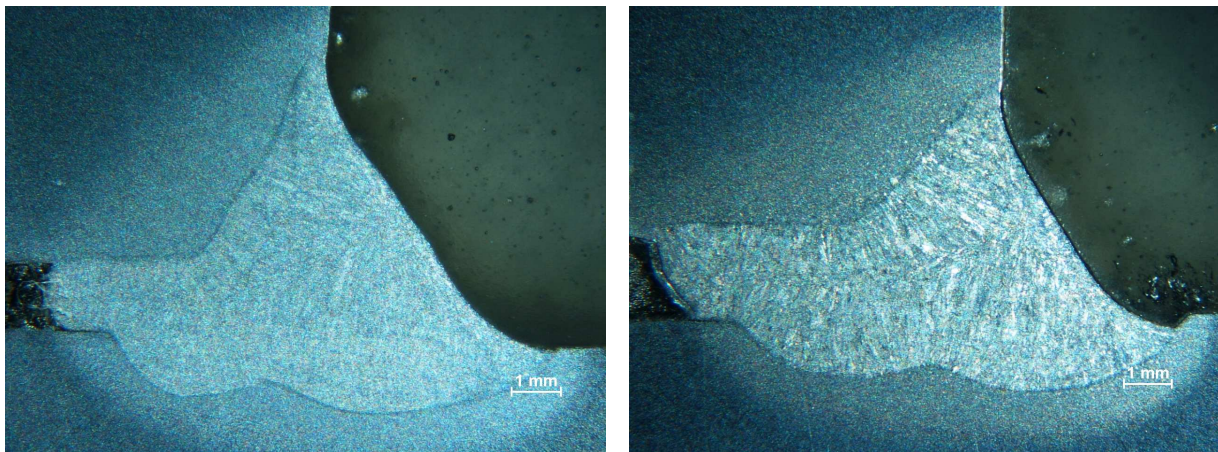
Vzorek č. 4 s mezerami 1,5 + 2 mm byl svařován v nastavení režimu 2 (tab. 16), bez simulace. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr.(48, 50 ,51).



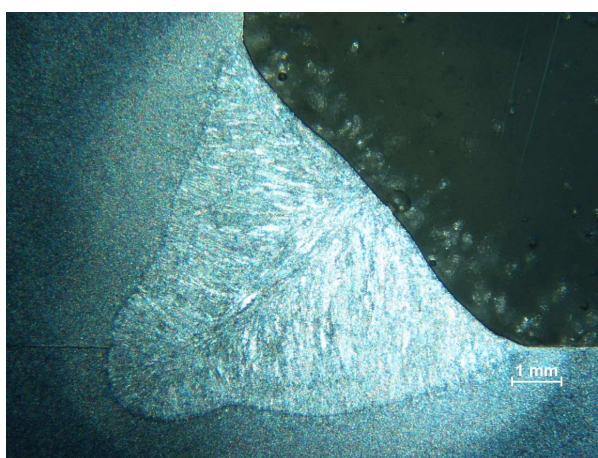
Obr. 48 – svařený vzorek č. 4



Obr. 49 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 4



Obr. 50 – Snímky makrostruktury svarů 41 a 42



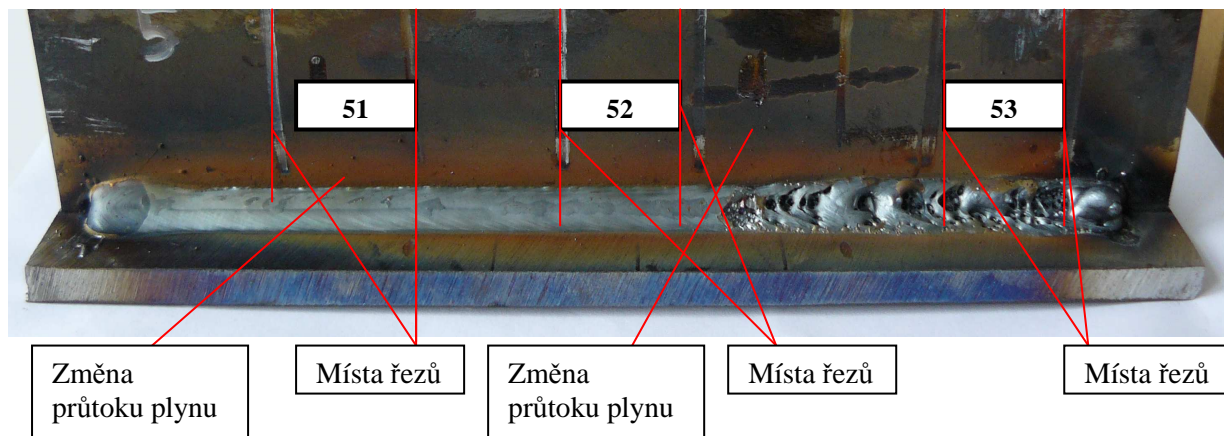
Obr.51 – Snímek makrostruktury svaru 412

Svařovací parametry – vzorek č. 4	
v_d	8,7 m / min
v_s	0,5 m / min
U	30 V
průtok plynu	18 l / min
Lc	14 mm
e	0,75 mm

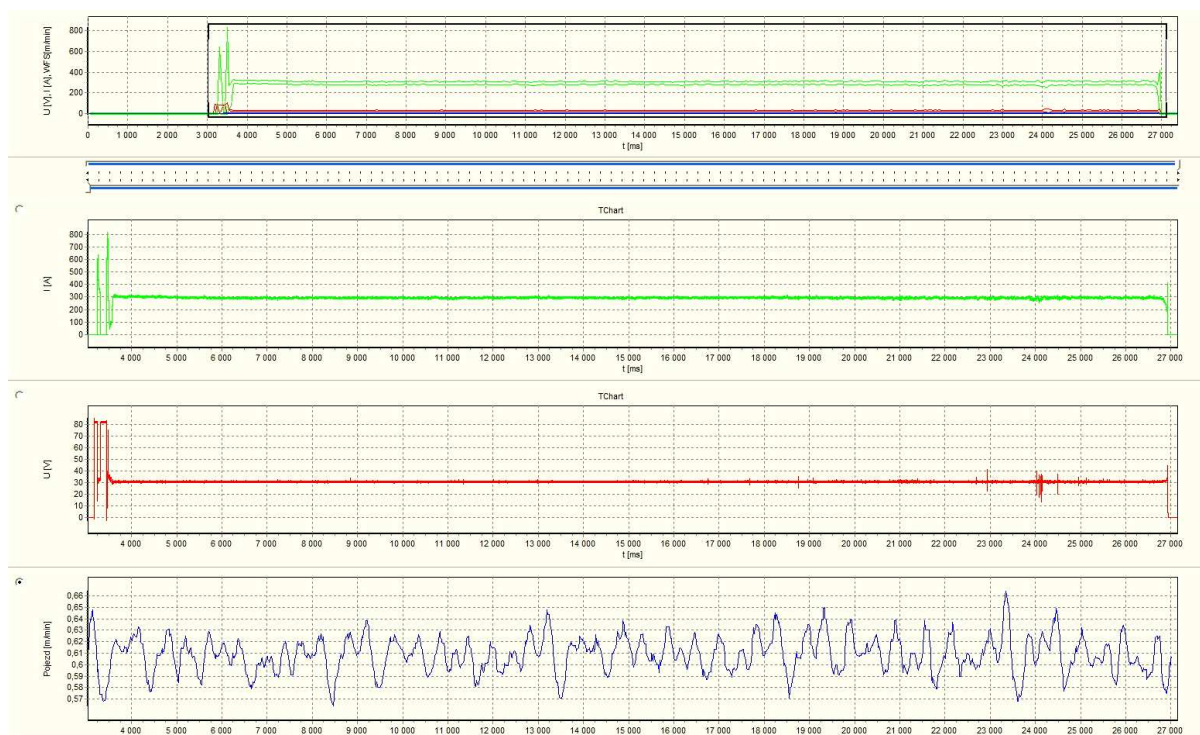
Tab. 16 – parametry svařování - vzorek č. 4

3.3.6 Vzorek č. 5

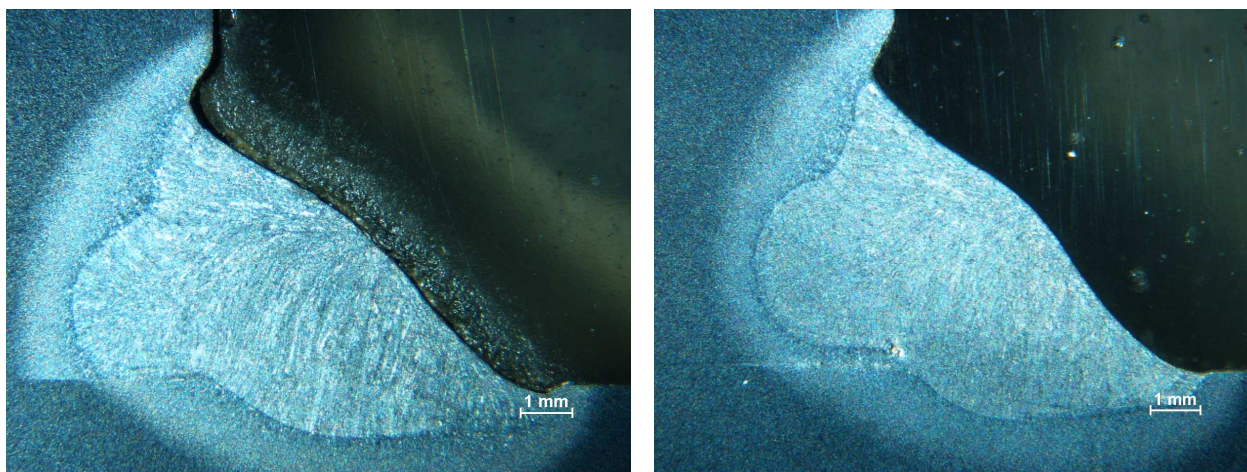
Vzorek č. 5 bez mezery byl svařován v nastavení režimu 1 (tab. 17), se simulací snížení průtoku plynu nejprve z 18 l / min na 6 l / min a poté na 4 l / min. Změny průtoku plynu jsou vyznačeny na vzorku - obr. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr. (52, 54, 55).



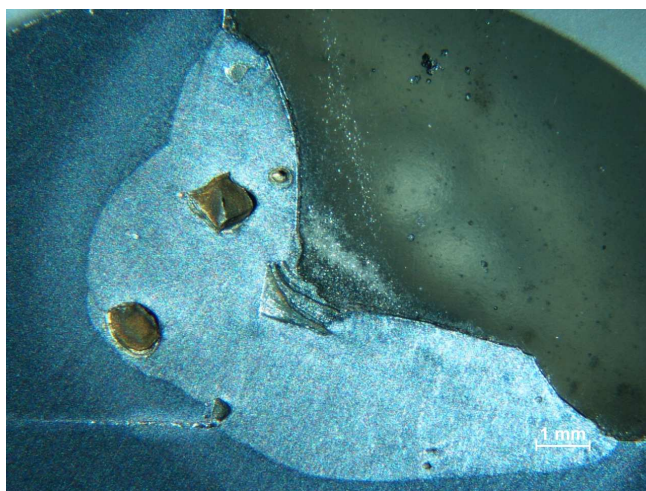
Obr. 52 – svařený vzorek č. 5



Obr. 53 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 5



Obr. 54 – Snímky makrostruktury svarů č. 51 a 52



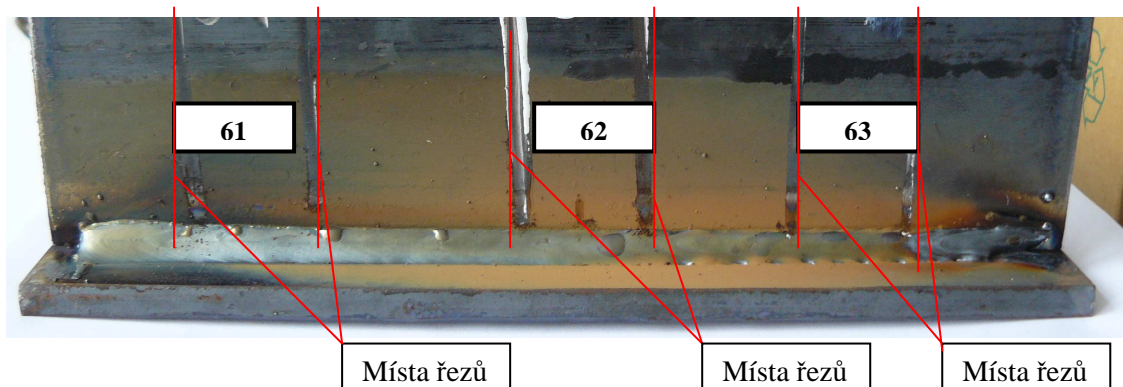
Obr. 55 – snímek makrostruktury svaru 53

Svařovací parametry – vzorek č. 5	
v_d	8,5 m / min
v_s	0,55 m / min
U	33 V
průtok plynu	18 l / min na 6 l / min na 4l / min
Lc	17 mm
e	0,75 mm

Tab. 17 – svařovací parametry – vzorek č. 5

3.3.7 Vzorek č. 6

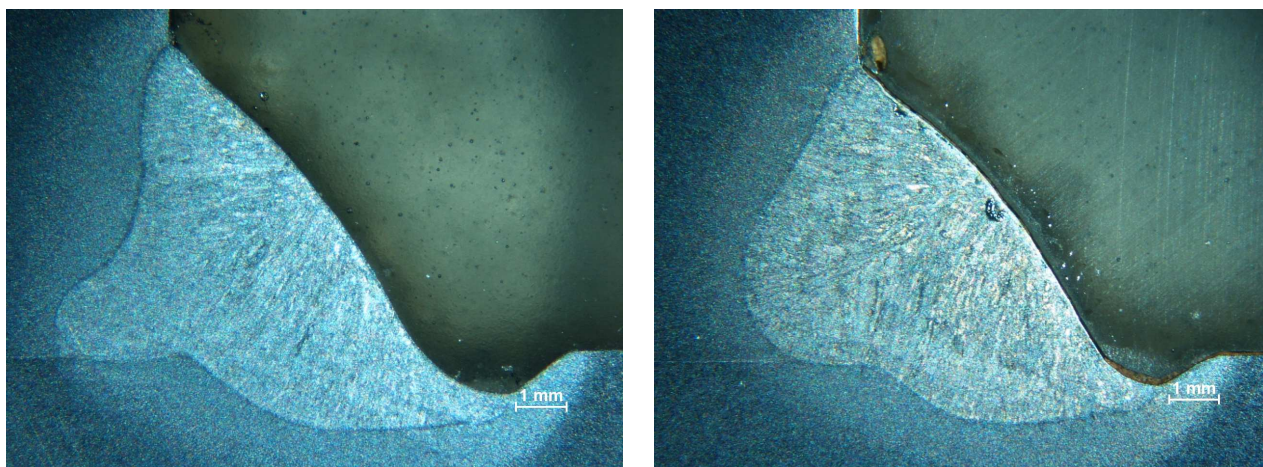
Vzorek č. 6, bez mezer, byl svařován v nastavení režimu 1 (tab. 18) se simulací vyosení hořáku o 1,8 mm a seřízení na střed přípravku a vzorku. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr.(56, 58, 59).



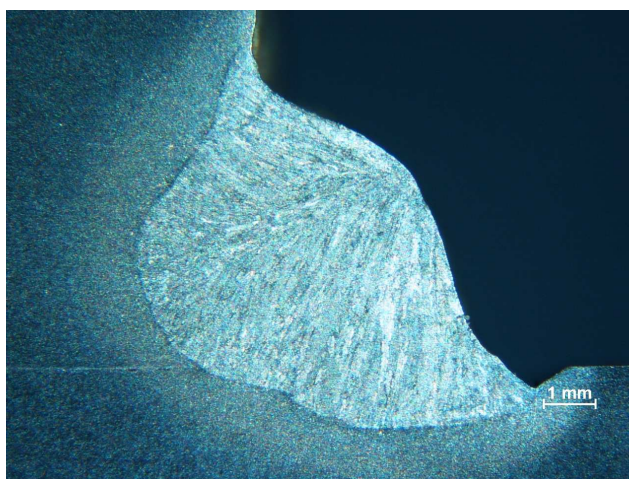
Obr. 56 – svařený vzorek č. 6



Obr. 57 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 6



Obr. 58 – snímky makrostruktury svarů č. 61 a 62



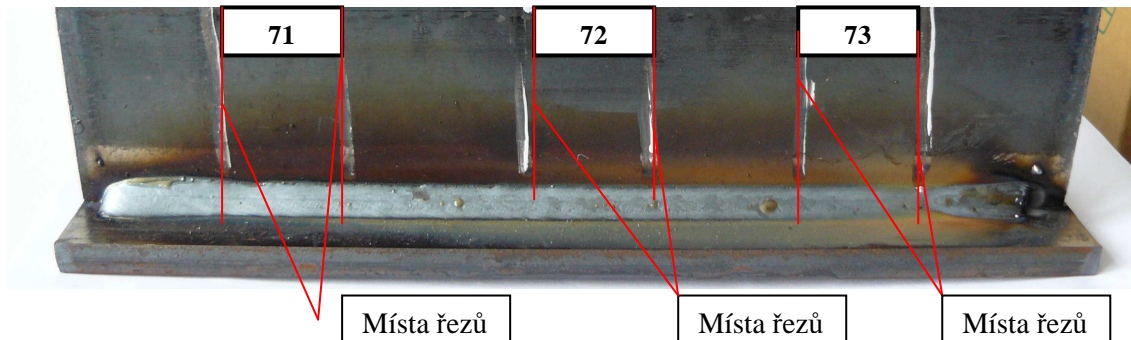
Obr. 59 – snímek makrostruktury svaru č. 63

Svařovací parametry – vzorek č. 6	
V_d	8,5 m / min
V_s	0,55 m / min
U	33 V
průtok plynu	18 l / min
Lc	17 mm
e	0,75 mm

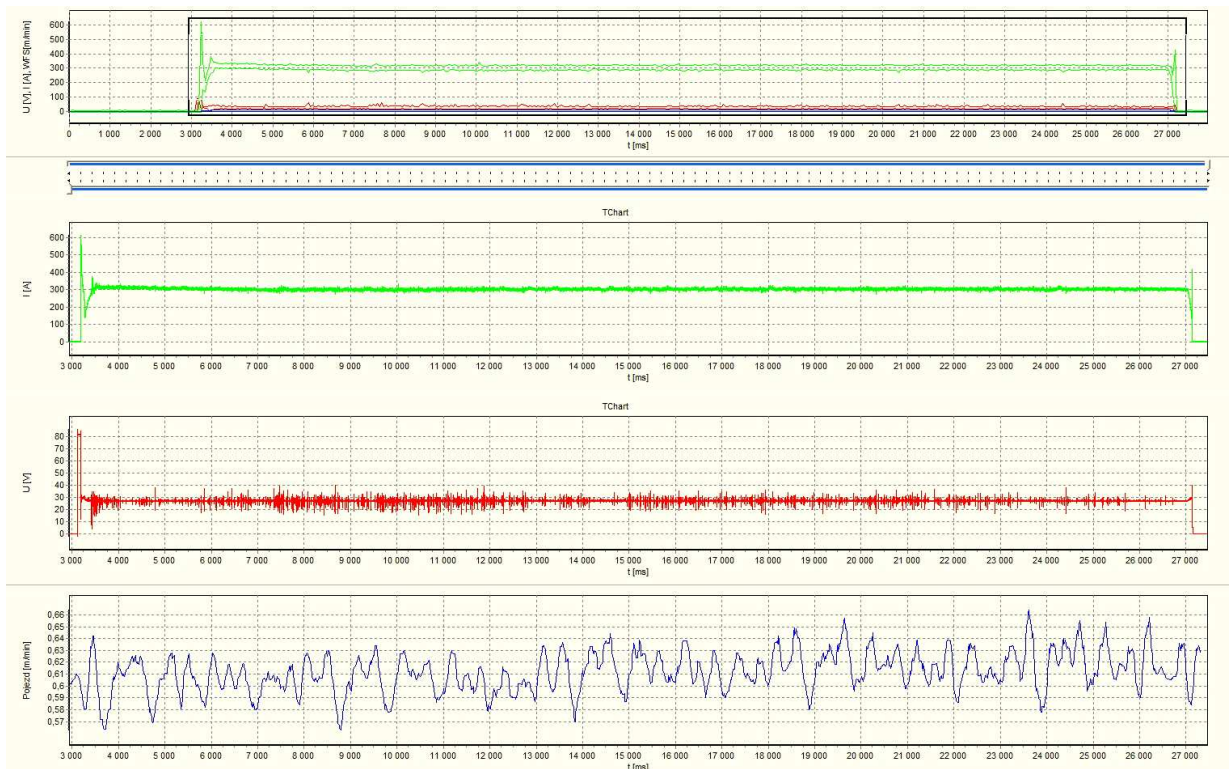
Tab. 18 – svařovací parametry – vzorek č. 6

3.3.8 Vzorek č. 7

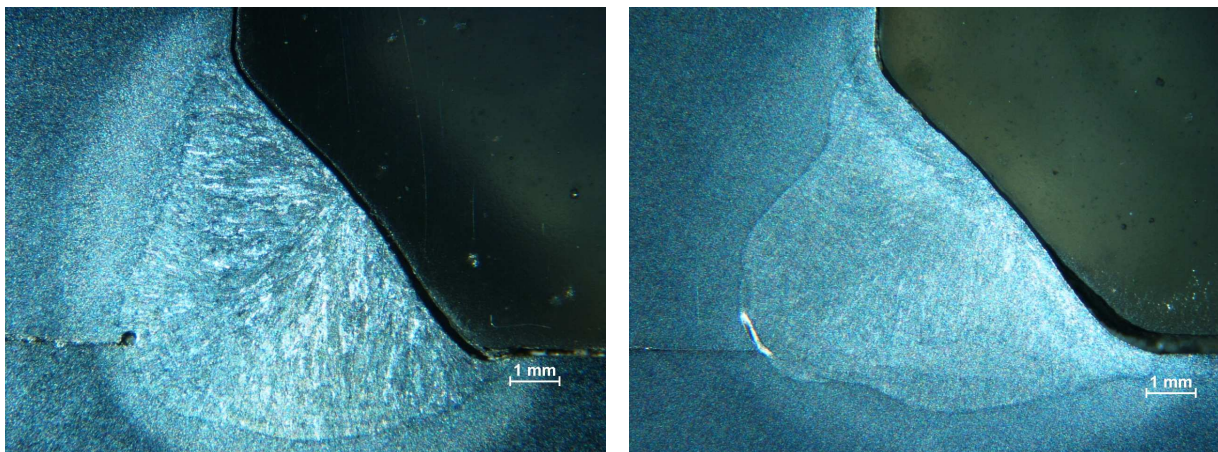
Vzorek č. 7 bez mezer byl svařován v nastavení režimu 2 (tab.19), bez simulace. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr. (60, 62, 63).



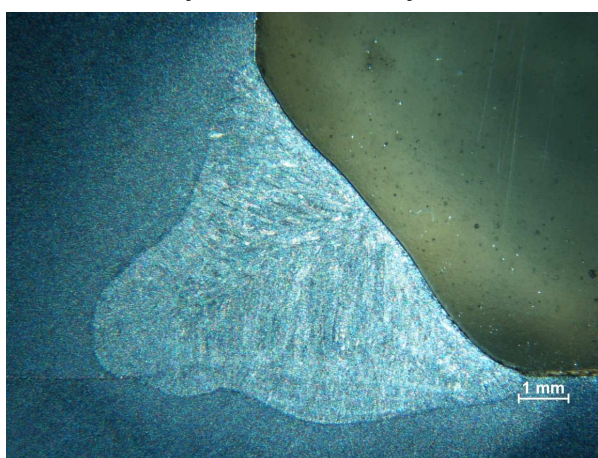
Obr. 60 – svařený vzorek č. 7



Obr. 61 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 7



Obr. 62 – snímky makrostruktury svarů č. 71 a 72



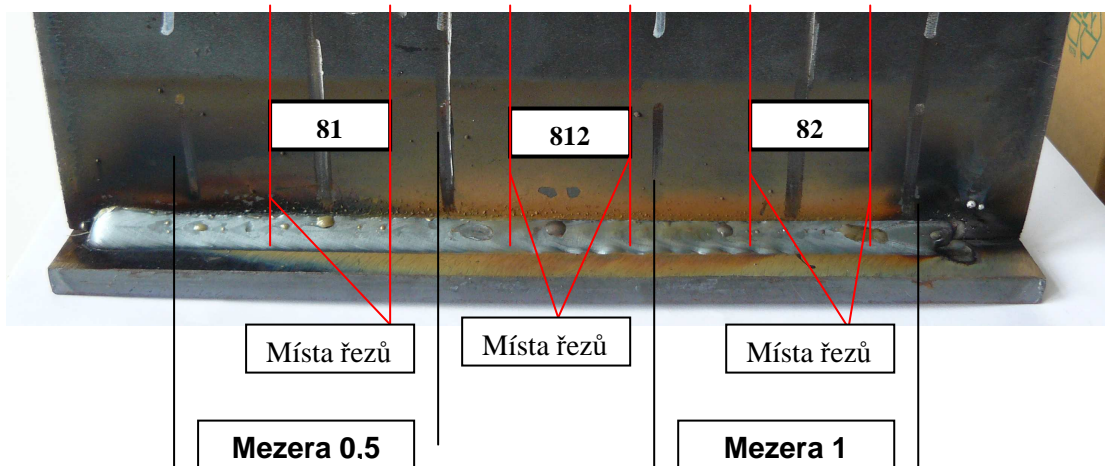
Obr. 63 – snímek makrostruktury svaru č. 73

Svařovací parametry – vzorek č. 7	
V_d	8,7 m / min
V_s	0,5 m / min
U	30 V
průtok plynu	18 l / min
L_c	14 mm
e	0,75 mm

Tab. 19 – parametry svařování vzorek č. 7

3.3.9 Vzorek č. 8

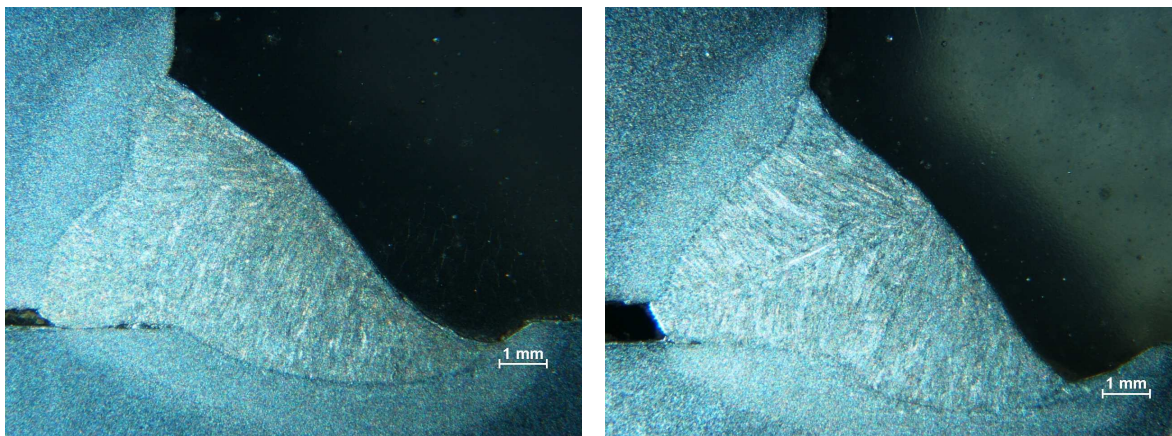
Vzorek č. 8 s mezerami 0,5 + 1 mm byl svařován v nastavení režimu 1 (tab. 20), bez simulace. Svařený vzorek a jednotlivé makrovýbrusy jsou na obr.(64, 66, 67).



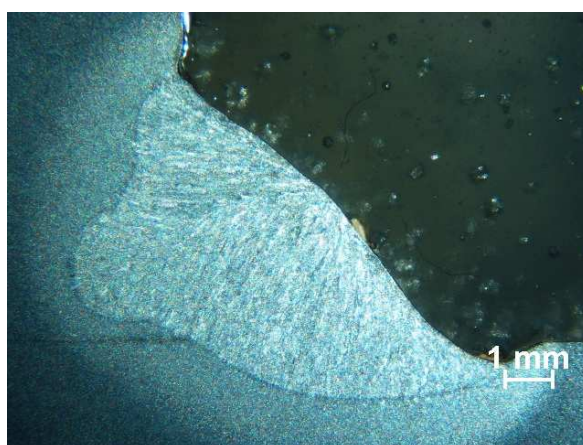
Obr. 64 – svařený vzorek č. 8



Obr. 65 – záznam programu Weldmonitor pro vzorek č. 8



Obr. 66 – snímek makrostruktury svaru č. 81 a 82



Obr. 67 – snímek makrostruktury svaru č. 812

Svařovací parametry – vzorek č. 8	
v_d	8,5 m / min
v_s	0,55 m / min
U	33 V
průtok plynu	18 l / min
Lc	17 mm
e	0,75 mm

Tab. 20 – parametry svařování – vzorek č. 8

3.4 Vyhodnocení experimentální části

Ze všech osmi svařených vzorků a jsme získali 23 výbrusů. U každého výbrusu jsme změřili pomocí programu NIS Elements rozměry svaru viz obr.33, 34, 35. Byla provedena rozměrová analýza, kdy tabulka naměřeného hodnoty rozměrů a ploch svarů jsou zaznamenány v tab. 21.

č.vzorku	r	a	z	v	w	b	c	PP	PN	PS
11	0,23	3,66	2,40	6,17	7,24	5,70	4,66	0,55	13,21	29,46
112	0,30	3,98	1,23	5,24	7,89	5,61	5,68	1,36	16,15	30,00
12	0,21	2,72	2,71	5,57	5,47	3,71	4,06	1,17	7,6	24,6
21	0,60	3,57	1,23	4,86	7,32	5,17	5,10	2,28	13,34	29,6
22	0,32	3,66	x	4,93	7,68	6,17	5,51	0,96	14,32	31,24
31	0	3,77	2,46	2,46	7,82	5,82	5,34	0	15	32,0
312	0	4,08	1,91	5,99	7,73	5,90	5,64	0	16,44	32,55
32	0	3,88	2,64	6,85	7,76	5,31	5,68	0	15,15	32,09
41	0	3,52	3,10	6,65	6,82	5,40	4,49	0	12,11	32,45
412	0	4,18	2,58	6,78	8,01	6,11	5,76	0	17,44	33,43
42	0	2,23	4,66	5,4	4,81	3,97	2,69	0	5,45	32,43
51	0,42	3,61	1,20	4,74	7,40	4,81	5,72	1,43	13,79	28,76
52	0,38	3,71	1,13	4,69	7,63	5,13	5,63	0,94	13,87	29,83
53	0,32	5,14	0,31	5,62	10,58	7,45	7,54	0,24	28,38	36,02
61	0,44	3,74	1,53	5,40	7,76	6,04	4,89	2,52	14,95	30,31
62	0,50	3,67	1,28	4,98	7,63	5,91	4,69	2,29	14,24	31,92
63	0,92	3,60	1,11	4,70	7,54	5,66	4,56	2,95	13,56	31,52
71	0,2	3,69	1,67	5,47	7,42	5,78	4,90	0,51	13,95	32,72
72	0	4,17	1,61	5,83	8,27	6,12	5,72	0	17,02	32,77
73	0	4,07	2,26	6,31	8,32	6,32	5,38	0	17,14	31,92
81	0,45	3,75	1,77	5,53	7,50	5,14	5,46	1,32	14,05	30,09
812	0,44	3,77	1,00	4,80	7,27	5,36	5,44	1,35	14,57	29,44
82	0,39	3,23	2,50	5,74	6,55	5,01	4,32	1,31	10,73	29,47

Tab. 21 – tabulka naměřených rozměrů a ploch svarů

V rámci experimentální části jsme pomocí monitorovacího systému WeldMonitor zaznamenali svařovací parametry u všech svařovaných vzorků. V záznamu namonitorovaných svarů jsou zobrazeny grafy výstupní hlavních veličin kterými jsou svařovací proud, napětí a svařovací rychlost v závislosti na čase. U vzorků s mezerami 0,5 a 1 mm tj. č.3 a č.8. U vzorku č.8 nejsou na záznamu viditelné změny svařovacích parametrů, proces je stabilní. Vzorek č.3 vykazuje v oblasti jednotlivých mezer určitou nestabilitu svařovacího procesu. U vzorků s mezerami 1,5 a 2 mm tj. č.1 a č.4. Vzorek č.1 nevykazuje na záznamu viditelné změny svařovacích parametrů, proces je stabilní. Vzorek č.4, který byl svařován v režimu 2 vykazuje v oblasti jednotlivých mezer určitou nestabilitu svařovacího procesu. Vzorky č.2 a č.5 byly svařeny v režimu 1 se simulací

snížování průtoku plynu. U vzorku č.2 nejsou na záznamu viditelné změny svařovacích parametrů, proces je stabilní. U vzorku č.5 kdy ke konci svaru byl průtok plynu snížen na 4l/min vykazuje záznam v této oblasti nestabilitu. Vzorek č.6 nevykazuje na záznamu viditelné změny svařovacích parametrů, proces je stabilní. U vzorku č.7 který byl svařován v režimu 2 je na záznamu patrný nestabilní proces svařování. Namonitorované záznamy svařovacích parametrů při nastavení režimu svařování 1 a 2 nevykazují značné změny stability svařovacích parametrů v závislosti na vybraných vlivech tj.mezera,snížení průtoku plynu a vyosení hořáku. Při použití vysokovýkonných svařovacích režimů [11] jsou tyto vlivy na záznamech svařovacích parametrů znatelné.

3.4.1 Hodnocení vad a určování stupňů jakosti koutového svaru

3.4.1.1 Zápal

U svaru je požadován plynulý přechod. Podle tabulky 21 jsme hodnotili zda naměřené hodnoty nepřesahují mezní hodnoty vad pro stupně jakosti z hlediska zápalu. Zápal jsme naměřili u čtrnácti výbrusů svarů - tab.22. Modře vyznačené hodnoty nevyhovují danému stupni jakosti dle normy ČSN EN ISO 5817.

č. vzorku	h. zápal	d. zápal	D (h)	C(h)	B(h)	D(d)	C(d)	B(d)
11	0,106	0,617	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \leq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \geq 0,05t$
112	x	0,23	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \leq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \leq 0,05t$
12	0,93	0,51	$h \leq 0,2t$	$h \geq 0,8t$	$h \geq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \geq 0,05t$
21	0,329	0,341	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \leq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \leq 0,05t$
22								
42	0,069	0,319	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \leq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \leq 0,05t$
51	0,49	0,13	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \geq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \leq 0,05t$
52								
61	x	0,87	x	x	x	$d \leq 0,2t$	$d \geq 0,1t$	$d \geq 0,05t$
62	x	0,596	x	x	x	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \geq 0,05t$
63	0,121	0,440	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \leq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \geq 0,05t$
81	0,42	x	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \geq 0,05t$	x	x	x
812	x	0,36	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \leq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \leq 0,1t$	$d \leq 0,05t$
82	0,39	0,81	$h \leq 0,2t$	$h \leq 0,8t$	$h \leq 0,05t$	$d \leq 0,2t$	$d \geq 0,1t$	$d \geq 0,05t$

Tab. 22 – zápal

3.4.1.2 Nadměrné převýšení koutového svaru

U svaru není povoleno nadměrné převýšení svaru. Podle tabulky 21 jsme hodnotili zda naměřené hodnoty nepřesahují mezní hodnoty vad pro stupně jakosti z hlediska nadměrného převýšení svaru. Tyto vady jsme u naměřených výbrusů svarů nezjistili a tudíž vyhovují normě ČSN EN ISO 5817. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab.22.

č. vzorku	r	w	D	C	B
11	0,23	7,24	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
112	0,30	7,89	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
12	0,21	5,47	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
21	0,60	7,32	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
22	0,32	7,68	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
51	0,42	7,40	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
52	0,38	7,63	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
53	0,32	10,58	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
61	0,44	7,76	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
62	0,50	7,63	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
63	0,92	7,54	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
71	0,2	7,42	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
81	0,45	7,50	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
812	0,44	7,27	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$
82	0,39	6,55	$r \leq 0,25w + 1$	$r \leq 0,15w + 1$	$r \leq 0,1w + 1$

Tab. 23 – nadměrné převýšení koutového svaru

3.4.1.3 Pórovitost a shluky pórů

U některých vzorků se vyskytují póry. U každého póru jsme změřili jednotlivé rozměry (průměr, plocha) a zjistili zda jsou tyto hodnoty přípustné podle normy ČSN EN ISO 5817. Na vzorcích jsme měřili průměr a plochu jednotlivých pórů. Modře vyznačené hodnoty nevyhovují danému stupni jakosti dle normy ČSN EN ISO 5817.

č. vzorku	a	d	s	D	C	B
53	5,14					
1		0,44	0,13	$d \leq 0,4a$	$d \leq 0,3a$	$d \leq 0,2a$
2		1,06	0,86	$d \leq 0,4a$	$d \leq 0,3a$	$d \geq 0,2a$
3		1,05	0,89	$d \leq 0,4a$	$d \leq 0,3a$	$d \geq 0,2a$
4		0,39	0,12	$d \leq 0,4a$	$d \leq 0,3a$	$d \leq 0,2a$
5		0,43	0,13	$d \leq 0,4a$	$d \leq 0,3a$	$d \leq 0,2a$

č. vzorku	a	d	s	D	C	B
52						
1	3,71	0,22	0,048	$d \leq 0,4a$	$d \leq 0,3a$	$d \leq 0,2a$

č. vzorku	a	d	s	D	C	B
71						
1	3,69	0,3	0,063	$d \leq 0,4a$	$d \leq 0,3a$	$d \leq 0,2a$

Tab. 24 - póry

3.4.2 Shrnutí a zhodnocení výsledků

Experimentálnímu měření předcházelo svaření zkušebních svarů a vyhodnocení, jak průběhu svařovacích parametrů pomocí monitorovacího systému WeldMonitor, tak i k vizuální kontrole zhotovených svarů. Před realizací experimentálního programu bylo vylepšeno svařovací pracoviště ve smyslu zhotovení nového upínacího přípravku pro svařované vzorky a pevné spojení tohoto přípravku s pojezdem lineární dráhy. Pomocí nového upínacího přípravku bylo dosaženo přesného nastavení vyosení hořáku, což bylo předmětem zkoumání jednoho vybraného vlivu na geometrii koutového svaru.

Vlastní experimentální program zahrnuje 8 měření s 23 metalografickými výbrusy, při vybraných parametrech ovlivňující geometrii koutového svaru, především mezery mezi svařovanými plechy, vyosení svařovacího hořáku a snížení průtoku ochranného plynu. U všech výbrusů byla provedena rozměrová analýza těchto svarů a stanovena jakost provedených svarů.

Po vyhodnocení těchto 8 svarů se ukázalo, že zvolené vybrané vlivy parametrů mají značný význam pro geometrii koutového svaru. Monitorování svařovacích parametrů proudu a napětí u zkušebních svarů ukázalo zvýšenou nestabilitu procesu, zaviněnou zřejmě přiblížením drátu tavné lázni při vysoké rychlosti tavení drátu a nízké rychlosti svařování. Proto byl nastaven výlet drátu na vyšší hodnotu, kdy se již proces ustálil.

Naměřené hodnoty svařovacích parametrů jsou v tabulce 11 svařovacích parametrů. V tabulce 21 na str. 66 jsou uvedeny všechny naměřené rozměry metalografických výbrusů. V tabulce 22 str. 67 jsou uvedeny hodnoty naměřených zápalů na jednotlivých vzorcích. Některé svary vykazují zápaly překračující všechny stupně jakosti a jsou nevyhovující! V tab. 24 str. 69 jsou naměřené hodnoty pórů u svaru, kde byla simulovaná vada - snížení průtoku plynu. Zde jsou póry značně velké a tudíž nevyhovují jakosti B dle ČSN EN ISO 5817.

4. ZÁVĚR DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomová práce se zabývá vlivem vybraných parametrů na geometrii svarů u MAG procesu svařování. Cílem této diplomové práce bylo seznámení s monitorovacím zařízením WeldMonitor, zaznamenat svařovací parametry a simulovat vybrané vady svaru v závislosti na geometrii koutového svaru. Svařovací parametry byly nastaveny dle předchozích studií, kdy byly navrženy pro maximální efektivitu provedení koutového svaru. Geometrie svaru byla posuzována z určování stupňů jakosti dle ČSN EN ISO 5817.

Na základě výsledků předešlých diplomových prací a zkušebních svarů před zahájením experimentálního programu byla určena oblast vstupních parametrů, ve které se očekávala nejefektivnější geometrie resp. efektivita svaru a stabilita svařovacího procesu. Vybrané simulace vad, které byly nastaveny v experimentální části dokazují, že pro zhotovení svarů nejvyššího stupně jakosti a požadované geometrie koutového svaru lze docílit díky přesného dodržení všech svařovacích parametrů předepsaných výrobcem jak přídatných materiálů tak i ochranných plynů.

Další směr výzkumu je třeba zaměřit na vytvoření statistického vyhodnocení zaznamenaných svařovacích parametrů systémem Weldmonitor. Tyto záznamy by měli sloužit k snížení a odhalení počtu a přesné definice vad koutových svarů.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Modeling, Sensing, and Control of Gas Metal Arc Welding, D.Subbaram Naidu, Selahattin Oozcelik, and Kevin L. Moore, Elsevier, Oxford, 2003.
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*. Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů, 1.vyd. Vydalo nakladatelství ZEROSS v Ostravě v edici Svařování, Ostrava, srpen 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [3] ZEMAN, R. *Zavaracie metody a zariadenia*, Ostrava: Zeross, 2000.
- [4] HRSTKA, D. *Vliv směsi plynu na efektivitu provedení svaru a stabilitu procesu MAG*. Liberec:2007.
- [5] The Physics of Welding, ed. J.F.Lancaster, Oxford, Pergamon Press,1986
- [6] Prospektový materiál firem:FRONIUS, ESAB, AIRPRODUCT,AIRLIQUIDE
- [7] ROED,P.:*INSTRUCTION MANULA BDH320/400/500*,Fjertrlev: 1995
- [8] internetové stránky Doc. Ing. Ivo Hlavatého <http://fs1.vsb.cz/~hla80/>
- [9] Hudec, Z.: Intenzita svařování MAG. SDSM 6/2004.
- [10] ČNI, ČSN EN ISO 5817, 2004
- [11] Neumann, Hrstka : Kvalita koutových svarů u vysokovýkonného svařování metodou MAG. Zvaranie 2007,Tatranská Lomnica
- [12] článek převzatý z internetové stránky <http://www.mmspektrum.com/clanek/zdroj-pro-pulzni-svarovani-gmaw>
- [13] internetová stránka firmy Legnex <http://www.legnex.cz/svareci-draty.htm>
- [14] Förbacher, Ivan Lexikon technických materiálů se zahraničními Ekvivalenty

[15] Hudec, Z.: Optimalizace konstrukčních a technologických parametrů koutových svarů zhotovených metodou MAG. [Disertační práce]. Liberec 2006. TU Liberec, FS.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum 21.5.2008

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date

Signature